

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Katedra oděvnictví

Akademický rok: 2010/2011



Studijní program: N3106 Textilní inženýrství

Studijní obor: Textilní a oděvní technologie

Měření tepelněizolačních vlastností oděvů

Measurement of thermal properties of clothing

KOD/2011/06/6/MS

MIROSLAVA ŠUTÁKOVÁ

Vedoucí diplomové práce: prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs

Rozsah práce :

Počet stran textu : 88

Počet obrázků: 24

Počet tabulek : 12

Počet grafů: 19

Počet příloh : 3

Prehlásenie

Prehlasujem, že predložená diplomová práca je pôvodná a spracovala som ju samostatne. Prehlasujem, že citácia použitých prameňov je úplná, že som v práci neporušila autorské práva (v zmysle zákona č. 121/2000 Zb. o práve autorskom a o právach súvisiacich s právom autorským).

Súhlasím s umiestnením diplomovej práce v Univerzitnej knižnici TUL.

Bola som oboznámená s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Zb. o práve autorskom, hlavne § 60 (školské dielo).

Beriem na vedomie, že TUL má právo na uzavretie licenčnej zmluvy o použití mojej diplomovej práce a prehlasujem, že **s ú h l a s í m** s prípadným použitím mojej diplomovej práce (predaj, zapožičanie a pod.).

Som si vedomá toho, že použiť moju diplomovú prácu, či poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem iba so súhlasom TUL, ktorá má právo odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, vynaložených univerzitou na vytvorenie diela (až do ich skutočnej výšky).

V Liberci, 13.5 2011

.....

Podpis

Pod'akovanie

Dovoľujem si poďakovať vedúcemu diplomovej práce **prof. Dr. Ing. Zdeňkovi Kůsovi** a **doc. Ing. Antonínovi Havelkovi, CSc.** za odborné vedenie, cenné rady, pripomienky a usmernenie pri realizácii mojej diplomovej práce.

Touto cestou chcem vysloviť vďaku mojej rodine za ich trpezlivosť a podporu.

ANOTÁCIA

Diplomová práca je zameraná na meranie tepelnoizolačných vlastností odevov. Úlohou práce je v prvom rade previesť rešerš o tepelnoizolačných vlastnostiach a možnostiach ich merania pri jednotlivých materiáloch. Ďalej popísať možnosti merania týchto vlastností v laboratóriách KOD.

Prvou úlohou experimentálnej časti je testovanie teploty v špeciálnej komore pomocou dvoch snímačov. Ďalšou úlohou je meranie tepelnoizolačných vlastností odevov pri rôznych nastavených teplotách. Cieľom je porovnanie jednotlivých tepelnoizolačných vlastností materiálov a vlastné odporúčanie pre použitie na zimné alebo letné odevy.

ANNOTATION

This thesis is focused on measuring thermal properties of clothing. The aim of this work is primarily to perform a search on the thermal properties and the possibilities of measuring them in different materials. Then, to describe the possibilities of measuring these properties in the laboratories KOD.

The first task of the experimental part is testing temperature in special chamber by using two sensors. Another task is measurement of thermal properties of clothing set at various temperatures. The aim is to compare the thermal properties of materials and their own recommendation for usage in winter or summer clothes.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Komfort

Tepelnoizolačné vlastnosti

Hrúbkomer SDL M 034 A

C Therm TCi

Thermal Product Solutions

Tepelná absorpcia

Tepelná vodivosť

Tepelný odpor

KEY WORDS

Comfort

Thermal insulating properties

Thickness Meter SDL M 034 A

C Therm - TCi

Thermal Product Solutions

Thermal absorbability

Thermal conductivity

Thermal resistance

OBSAH

1.ÚVOD.....	13
2. REŠERŠNÁ ČASŤ	14
2.1 Komfort.....	14
2.1.1 Termofyziologický komfort.....	14
3.FYZIOLÓGIA ĽUDSKÉHO TELA	16
3.1 Tepelná pohoda organizmu.....	16
3.2 Tepelná bilancia organizmu.....	17
3.3 Termoregulácia	19
3.4 Prenos tepla medzi človekom a okolím	20
3.4.1 Prenos tepla vedením – kondukcia	20
3.4.2 Prenos tepla prúdením – konvekcia	21
3.4.3 Prenos tepla žiarením – radiácia	22
3.4.4 Prenos tepla odparovaním – evaporácia	23
3.4.5 Prenos tepla dýchaním - respirácia	24
4. VPLYV PRÚDIACEHO VZDUCHU	25
5. TEPELNOIZOLAČNÉ VLASTNOSTI ODEVOV.....	27
6. VRSTVENIE ODEVOV.....	27
6.1 Prvá vrstva (sacia).....	28
6.2 Druhá vrstva (izolačná).....	28
6.3 Tretia vrstva (ochranná).....	29
7. FAKTORY OVPLYVŇUJÚCE TEPELNOIZOLAČNÉ VLASTNOSTI MATERIÁLOV.....	31
7.1 Prítomnosť vzduchu v textílií	31
7.1.2 Vplyv jemnosti vlákien.....	32
7.1.3 Vplyv štruktúry textílie a jej stlačenia	32
7.2 Vplyv priestorovej orientácie vlákien.....	32
7.3 Vplyv vlhkosti.....	33

7.4 Vplyv prítomnosti oxidu uhličitého	34
8. HODNOTENIE TEPELNOIZOLAČNÝCH VLASTNOSTÍ ODEVOV	35
8.1 Fyzikálne veličiny	35
8.1.1 Tepelná vodivosť	35
8.1.2 Tepelná absorpcia	36
8.1.3 Tepelný odpor	36
8.1.4 Teplotná vodivosť	37
8.1.5 Tepelná kapacita	37
9. VPLYV WIND CHILL EFEKTU A POTU NA MERNÚ TEPELNÚ VODIVOSŤ	38
9.1 Simulácia potného testu	40
9.2 Wind chill simulácia skúšobného postupu.....	41
9.3 Výsledky	41
9.4 Výsledky potného testu.....	42
10. PREHLAD METÓD A PRÍSTROJOV PRE MERANIE TEPELNOIZOLAČNÝCH VLASTNOSTÍ.....	45
10.1 Alambeta	46
10.2 Prístroj Togmeter „SDL M 259“	46
10.3 Prístroj „PSM-2“	47
10.4 Aerodynamický tunel.....	48
10.5 Analyzátor tepelnej vodivosti TCI – C Therm TCI	48
11. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ	52
11.1 Testovanie komory Thermal Product Solutions	53
11.1.1 Termočlánok č. 1	55
11.1.2 Termočlánok č. 2	58
11.2 Charakteristika použitých materiálov	61
11.3 Meranie hrúbky materiálu.....	62
11.4 Zisťovanie tepelnoizolačných vlastností materiálov	64

11.5 Meranie tepelnoizolačných vlastností odevov	67
11.5.1 Meranie pri teplote - 45°C	67
11.5.2 Meranie pri teplote - 25°C	70
11.5.3 Meranie pri teplote 20°C.....	73
11.5.4 Meranie pri teplote 40°C.....	76
11.5.5 Meranie pri teplote 60°C.....	79
11.5.6 Porovnanie hodnôt tepelnej vodivosti vybraného materiálu.....	82
11.6 Zhodnotenie výsledkov	83
12. ZÁVER	84
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	86
ZOZNAM PRÍLOH.....	88

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

DP	diplomová práca
atď.	a tak ďalej
a pod.	a podobne
napr.	napríklad
tzv.	takzvané
tj.	to je
obr.	obrázok
tab.	tabuľka
Q_{pr}	teplo produkované človekom pri určitej činnosti [J]
Q_v	teplo odvádzané z povrchu tela vedením [J]
Q_p	teplo odvádzané z povrchu tela prúdením [J]
Q_s	teplo odvádzané z povrchu tela sálaním [J]
Q_o	teplo odvádzané z povrchu tela odparovaním potu [J]
Q_d	teplo odvádzané dýchaním [J]
q	tepelný tok [$J \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$]
λ	súčiniteľ tepelnej vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
v	teplota [$^{\circ}C$]
Q_v	množstvo prestúpeného tepla [$J \cdot s^{-1}$]
S	plocha povrchu [m^2]
Q_p	množstvo prúdeného tepla [$J \cdot s^{-1}$]
α_p	koeficient prestupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
v_1	teplota vnútornej strany textílie [$^{\circ}C$]
v_2	teplota vonkajšej strany textílie [$^{\circ}C$]
v_k	teplota pokožky [$^{\circ}C$]
v_s	teplota okolitého vzduchu [$^{\circ}C$]
Q_0	množstvo odparovaného tepla [J]
Δi	merné výparné skupenské teplo [J]
m_k	permabilita kože [$kg \cdot S^{-1} \cdot m^{-2} \cdot Pa^{-1}$]
Δp	rozdiel parciálnych tlakov vodných pár [Pa]
p_k	tlak pary pri určitej teplote kože v medzivrstve [Pa]

p_0	tlak okolitého vzduchu [Pa]
E	intenzita vyžarovania [$W \cdot m^{-2}$]
T^4	absolútna teplota [K]
ε	povrchová emisivita
σ	Stefan-Boltzmannova konštanta [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$]
Q_d	respiračný odvod tepla [J]
W_{ex}	množstvo vodných pár vdychovaných [kg]
W_a	množstvo vodných pár vydychovaných [kg]
t	čas [s]
T_{wc}	Wind chill teplotný index [$^{\circ}C$]
T	teplota vzduchu [$^{\circ}C$]
v	rýchlosť prúdenia vzduchu [$Km \cdot h^{-1}$]
q	hustota tepelného toku [$W \cdot m^2$]
grad T	gradient teploty [$W \cdot m^{-1}$]
b	tepelná absorpcia [$W \cdot m^{-2} \cdot s^{1/2} \cdot K^{-1}$]
ρ	merná hmotnosť materiálu [$kg \cdot m^3$]
c	merná tepelná kapacita materiálu [$J/kg \cdot K$]
R	plošný odpor vedenia tepla [$W^{-1} \cdot K \cdot m^2$]
Δt	rozdiel teplôt [K]
Q	teplo [J]
α	merná teplotná vodivosť [$m^2 \cdot s^{-1}$]
C	tepelná kapacita [$J \cdot K^{-1}$]
h	hrúbka [mm]
PP	polypropylén
PES	polyester

1.ÚVOD

V oblasti textilného priemyslu dochádza z roka na rok ku stále väčším pokrokom. Výskumné ústavy sa zaoberajú vývojom nových vlákien, materiálov i technológiami ich výroby. V odevnom priemysle sa v poslednom období kladie dôraz predovšetkým na komfort textílií. V súčasnej dobe musí byť praktickosť a komfort rozhodujúcimi faktormi a je s nimi uvažované od prvopočiatku vývoja, kde sú koncipované jednotlivé detaily. I dnes je stále zložitejšie dosiahnuť komfortu výrobkov, pretože subjektívne pocity človeka sa s vyspievajúcou kultúrou neustále menia a sú ťažko definovateľné. Jedným z najviac prosperujúcich odvetví v poslednom desaťročí sa stal vývoj nových materiálov, ktoré sú schopné splniť vysoké nároky na fyziologický komfort človeka. Preto musíme byť schopní špecifikovať pocity nositeľov a dokonale uspokojovať ich požiadavky. Z týchto dôvodov sa výrobcovia snažia vytvoriť nové materiály, ktorých vlastnosti dokážu lepšie uspokojiť zákazníka.

Pri správnom výbere materiálov na výrobu odevov pre jednotlivé ročné obdobia je nutné meraním zistiť ich tepelnoizolačné vlastnosti, aby bol zabezpečený čo najlepší subjektívny pocit človeka pri nosení.

Cieľom diplomovej práce je bližšie špecifikovať pocit komfortu pri nosení odevov, charakterizovať jednotlivé tepelnoizolačné vlastnosti materiálov a možnosti ich merania. Neustále je kladený dôraz na vrstvenie odevov a je samozrejmosťou, že každá odevná vrstva má určitú funkciu. Práve druhá vrstva odevov skúmaná v experimentálnej časti tejto práce môže byť považovaná za vrstvu s najlepšimi tepelnoizolačnými vlastnosťami a podľa toho sa načrtáva možnosť posúdiť, ktorý zo skúmaných materiálov je vhodný na nosenie v letnom alebo zimnom období tak, aby bol zabezpečený čo najkomfortnejší pocit človeka pri nosení.

2. REŠERŠNÁ ČASŤ

2.1 Komfort

Komfort je definovaný ako : „ *stav organizmu, kedy sú fyziologické funkcie organizmu v optime a kedy okolie vrátane odevu nevytvára žiadne nepríjemné vnemy vnímané našimi zmyslami. Subjektívne je tento pocit braný ako pocit pohody. Neprevládajú pocity tepla ani chladu, je možné v tomto stave zotrvať a pracovať* ” [1].

Komfort je vnímaný všetkými ľudskými zmyslami okrem chuti, v nasledujúcom poradí dôležitosti : hmat, zrak, sluch, čuch.

Pri diskomforte môžu nastať pocity tepla a chladu. Pocity tepla sa dostavujú pri väčšom pracovnom zaťažení alebo pri pôsobení teplej a vlhkej klímy. Pocity chladu sa dostavujú predovšetkým ako reakcie na nízku teplotu klímy alebo nízke pracovné zaťaženie.

Komfort delíme na :

- psychologický
- senzorický
- termofyziologický
- patafyziologický [1]

2.1.1 Termofyziologický komfort

Stav ľudského organizmu, v ktorom sú termofyziologické funkcie v optime. Tento stav je subjektívne vnímaný ako teplotné pohodlie. Jednoducho povedané, ide o vlastnosť textílie, pri ktorej určujeme v akej miere prepúšťa vlhkosť a teplo od tela. Základnými parametrami sú tepelný a výparný odpor.

Výparný odpor charakterizuje tepelné účinky vnímané pokožkou vznikajúce v dôsledku odparovania potu. Tu rozlišujeme celkový výparný odpor odevu a výparný odpor vrstvy vonkajšieho prilahlého vzduchu, tzv. medznej vrstvy. Celkový tepelný odpor odevu je zostavený z odporu vlastného odevu a tepelného odporu medznej vrstvy. Záleží teda na tzv. vlhkosťnom gradiente [2].

V podmienkach, kde organizmus nemusí regulovať teplotu ľudského organizmu nedochádza k termoregulácii. Pri normálnom prekrvení organizmu nedochádza

k poteniu a ani nenastáva pocit chladu. Je to teda stav, v ktorom človek vydrží pracovať neobmedzene dlho, stav fyziologickej, psychologickej a fyzikálnej harmónie medzi človekom a okolím. Tento stav vyjadruje stav tepelnej pohody alebo inými slovami termofyziologického komfortu [1].

Ako optimálne hodnoty pre mikroklimu znamenajúci termofyziologický komfort sú dané :

- teplota pokožky $33 - 35\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- RH okolitého vzduchu $50 \pm 10\%$,
- rýchlosť prúdenia vzduchu $0,25 \pm 0,1\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,
- obsah CO_2 v mikroklimě $0,07\%$,
- neprítomnosť vody na pokožke [1].

Tieto optimálne hodnoty by mali byť dosiahnuté pomocou správne skonštruovaného odevu, ktorý by mal pre špecifickú klímu splňovať nároky na prenos tepla, kvapalné i plynné vlhkosti a vzduchu. Tohto procesu môže byť dosiahnuté správne zvolenou vláknovou surovinou, ale i konštrukciou materiálu samotného odevu [1].

3.FYZIOLÓGIA ĽUDSKÉHO TELA

3.1 Tepelná pohoda organizmu

Ľudské telo je vystavované rôznym vonkajším podmienkam, z ktorých sú niektoré pre nositeľa nepríjemné. Tepelná pohoda je definovaná ako subjektívny pocit, ktorý je reakciou na aktuálny stav prostredia, kde sa človek nachádza. Jej definícia hovorí o udržiavaní správneho vzťahu medzi produkciou telesného tepla a straty. Vymenené teplo medzi ľudským organizmom a jeho okolím je komplexný jav, ktorý závisí na mnohých faktoroch súvisiacich s ľudským organizmom, klimatických podmienkach, životnom prostredí ako aj na štruktúre odevu.

Tepelná pohoda závisí na kombinácii odevov, klíme a telesnej aktivity, vonkajších fyzikálnych podmienkach v danom prostredí, ako je predovšetkým teplota vzduchu, povrchová teplota, radiačná teplota, relatívna vlhkosť, rýchlosť prúdenia vzduchu a na druhu činnosti človeka.

Hranica tepelnej pohody sa u jednotlivých ľudí líši podľa ich otužilosti či schopnosti znášať teplo a chlad. Rozhodujúci vplyv majú tiež izolačné vlastnosti odevov, únava, zdravotný a psychický stav jedinca [3].

Pocit tepelnej pohody ovplyvňujú nasledujúce objektívne a subjektívne faktory.

Objektívne faktory:

- Teplota vnútorného vzduchu
- Povrchová teplota
- Radiačná teplota
- Relatívna vlhkosť vzduchu
- Rýchlosť prúdenia vzduchu

Subjektívne faktory :

- Hodnota metabolizmu
- Tepelnoizolačné vlastnosti odevov [4]

Konkrétne tepelná izolácia v odevu je dôležitý parameter tepelného komfortu. Ľudské telo neustále produkuje teplo, ktoré musí byť prevedené do okolitého prostredia. Ľudia sa občas cítia nepříjemne v dôsledku niektorej zo svojich fyziologických aktivít a zmeny vonkajších podmienok. Ľudské telo je prispôsobené fungovaniu v úzkom rozmedzí teplôt. Všeobecne platí, že ľudské telo udržiava svoju telesnú teplotu na konštantnej teplote $37 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Preto je potrebné vrstvami odevu chrániť telo pred tepelnými stratami a poveternostnými vplyvmi [5].

Ľudská tepelná pohoda závisí na kombinácii šatstva, klímy a telesnej činnosti. Telo premieňa chemickú energiu z jedla na prácu a teplo. Behom všetkých druhov aktivít ľudské telo produkuje isté množstvo tepla v rade 80 W, pri spaní dokonca cez 1000 W.

Nadbytočná energia môže byť prevedená do okolia tromi cestami : dýchaním, vydávaním suchého tepla (žiarenie, prúdenie, vedenie) a odparovacím teplom. Celková tepelná strata pri strednej teplote 20°C a relatívnej vlhkosti vzduchu 50% môže byť rozdelená týmto spôsobom :

- vyparovanie 20%
- prevod 25%
- žiarenie 45%
- dýchanie 10% [5]

3.2 Tepelná bilancia organizmu

Tepelná bilancia predstavuje vyrovnanosť medzi teplom generovaným metabolickými premenami a tepelnými stratami. Pokiaľ dôjde k nerovnováhe, teplota tela začne buď narastať alebo klesať. Na udržanie približnej rovnováhy si človek intuitívne vytvára nad povrchom tela vonkajšiu mechanickú tepelnú bariéru predstavenú vhodným oblečením alebo inými spôsobmi [6].

Tepelne neutrálne podmienky ľudského organizmu sú základnou podmienkou termofyziologického komfortu a inými slovami je to možné vyjadriť vyrovnanou tepelnou bilanciou organizmu. Táto je všeobecne daná produkciou tepla v organizme, prijímaním tepla a aktuálnou tepelnou stratou ľudského organizmu. Je to možné vyjadriť exaktným vzťahom [7].

Rovnica tepelnej bilancie definuje celkový tepelný výkon organizmu, prejdeneho určitou plochou za jednotku času, ako súčet jednotlivých tepelných výkonov. Stav tepelnej rovnováhy človeka je možné všeobecne vyjadriť rovnicou [7] :

$$Q_{pr} = Q_v + Q_p + Q_s + Q_o + Q_d, \quad (1)$$

kde skratky znamenajú :

Q_{pr}	teplo produkované človekom pri určitej činnosti [J]
Q_v	teplo odvádzané z povrchu tela vedením [J]
Q_p	teplo odvádzané z povrchu tela prúdením [J]
Q_s	teplo odvádzané z povrchu tela sálaním [J]
Q_o	teplo odvádzané z povrchu tela odparovaním potu [J]
Q_d	teplo odvádzané dýchaním [J]

Produkcia tepla Q_{pr} je funkciou najmä staroby, pohlavia, fyzickej a psychickej činnosti, metabolických činností v organizme a klímou prostredia. Významným producentom tepla v ľudskom tele je chemický rozklad prijatej potravy. Metabolizmom živín získa organizmus energiu, z ktorej 60% využije na vytváranie zásobných látok a činnosť orgánov a 40% nevyužije, alebo túto časť energie premení na teplo ďalej prestupujúce organizmom [8].

Ak je organizmus v pokoji, sú hlavným producentom tepla centrálné uložené orgány asi zo 75%. Svalstvo a koža produkujú približne 25% celkového tepla. Pri fyzickej záťaži je zároveň energia organizmom spotrebovávaná tak, že približne 35 – 40% je využitých na samostatnú prácu svalstva a 60%, je premenené na teplo [9].

Teplo odvádzané z povrchu tela bude závisieť najmä na tepelnom odpore (tepelnej izolácii tvorenej odevom) a na teplotnej diferencii (vonkajšej teplote) medzi povrchom tela a okolitým prostredím. Tabuľka č. 1 znázorňuje príklady tepelného odporu [7]:

Tepelný odpor rôznych druhov odevov	
Druh odevu	Tepelný odpor $R [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
Nahé telo	0
Ľahký letný odev	0,08
Normálny spoločenský odev	0,15
Kompletné zimné oblečenie	0,33

Tab. č. 1 Tepelný odpor rôznych druhov odevov [7]

3.3 Termoregulácia

Termoreguláciou nazývame schopnosť organizmu udržiavať stálu telesnú teplotu, aj napriek tomu, že produkcia tepla, jeho príjem a straty, nepretržite kolíšu. Organizmus človeka predstavuje samoregulačný systém, ktorého fyziologický mechanizmus je zameraný na udržanie stálosti vnútorného prostredia na princípe rovnováhy medzi množstvom tepla vytvoreného organizmom a množstvom tepla odovzdaného do okolitého prostredia [1].

Termoregulácia je proces, ktorý zlučuje fyziologické pochody riadené centrálnym nervovým systémom, udržiujúcim telesnú teplotu na optimálnej hodnote, pri ktorej prebiehajú metabolické premeny. Na tomto základe existuje termoregulácie dvoch druhov :

- chemická – tvorba tepla
- fyzikálna – výdaj tepla

Chemická termoregulácia predstavuje látkovú premenu, teda intenzitu chemických reakcií, a teda tvorbu tepla. Je zároveň závislá na fyzickej záťaži organizmu, na jeho činnosti. Najväčšie množstvo produkovaného tepla je pri namáhavej činnosti organizmu.

Fyzikálna termoregulácia zahŕňa podiely jednotlivých odvodov tepla z organizmu, teda tvorbu a výdaj tepla [1].

Pri vysokých teplotách okolia sa zvyšuje frekvencia tepu a prietok krvi umožnený tzv. **vasodilatáciou** – zvýšeným prierezom ciev. Tým sa teplotný profil v celom objeme tela vyrovnáva, teplota kože rastie a rastie aj prenos tepla konvekciou do okolitého vzduchu, pokiaľ tento je aspoň o 1 – 2°C chladnejší. Zvýšenie kožnej teploty je možné dosiahnuť i pitím horúcich nápojov. Tým je možné paradoxne dosiahnuť vyššiu úroveň termofyziologického komfortu.

Naproti tomu **vasokonstrikcia** vedie obmedzenie prietoku krvi periférnymi časťami tela i pokožkou, kožná teplota klesá a klesajú i tepelné straty do okolia. Tým v kritických situáciách dôjde k úsporám tepelnej energie, ktorá môže byť použitá k zaisteniu konštantnej teploty mozgu a vnútorných orgánov dôležitých k zachovaniu života jedinca [1].

3.4 Prenos tepla medzi človekom a okolím

Všetkých 5 spôsobov odvodu tepla z organizmu sa podieľa na fyzikálnej termoregulácii a ich suma sa musí rovnať množstvu tepla, ktoré vyrobí organizmus metabolickými pochodmi [11].

3.4.1 Prenos tepla vedením – kondukcia

Spočíva v predávaní kinetickej energie – vo vyrovnávaní teplôt teplejšej látky s látkou chladnejšou (okolie). Dochádza k nemu v prípade, že odev tesne dolieha na pokožku, teplo odoberá kontaktným spôsobom. Rýchlosť šírenia tepla závisí na teplote okolia, hrúbke vrstvy, množstve statického vzduchu v textílií a vonkajším pohybom vzduchu.

Pri prenose tepla platí Fourierov zákon tepelného toku [11] :

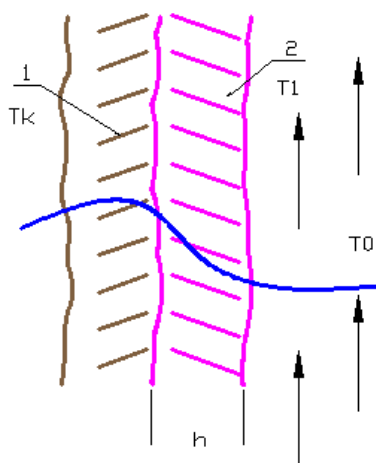
$$q = - \lambda \cdot grad \, v \quad (2)$$

Množstvo prestúpeného tepla Q_v danou plochou :

$$Q_v = - \lambda \cdot \text{grad } v \cdot S, \quad (3)$$

kde skratky znamenajú :

q	tepelný tok [$\text{J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$]
λ	merná tepelná vodivosť [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
v	teplota [$^{\circ}\text{C}$]
Q_v	množstvo prestúpeného tepla [$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$]
S	plocha povrchu [m^2]



- 1 - pokožka
- 2 - textilná vrstva
- T_k - teplota pokožky
- T_0 - teplota okolia
- T_1 - teplota vonkajšej vrstvy odevu
- h - hrúbka textilnej vrstvy

Obr. č. 1 Prestup tepla kondukciou [1]

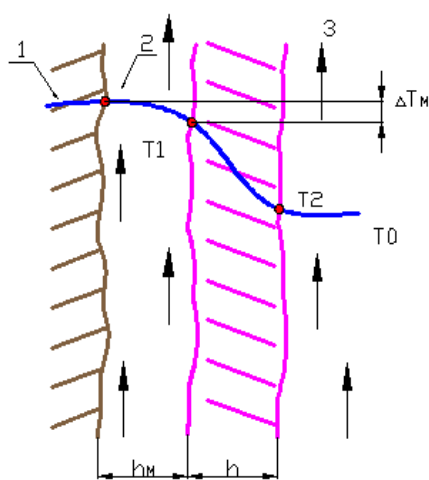
3.4.2 Prenos tepla prúdením – konvekcia

Medzi pokožkou a prvou odevnou vrstvou sa nachádza vzduchová medzivrstva (mikroklima), v ktorej dochádza k prúdeniu vďaka pohybu organizmu v prostredí. Transport tepla je závislý na prúdení vzduchu, odhalení tela a rýchlosti vetra [11].

$$Q_p = \alpha_p \cdot S \cdot (v_k - v_1) + (v_2 - v_s), \quad (4)$$

kde skratky znamenajú :

Q_p	množstvo prúdiaceho tepla [$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$]
α_p	koeficient prestupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
v_1	teplota vnútornej strany textílie [$^{\circ}\text{C}$]
v_2	teplota vonkajšej strany textílie [$^{\circ}\text{C}$]
v_k	teplota pokožky [$^{\circ}\text{C}$]
v_s	teplota okolitého vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]



- 1 – pokožka
- 2 – mikroklíma
- 3 – textília
- T_k – teplota pokožky
- T_o – teplota okolia
- ΔT_M – pokles teploty
- h_M – hrúbka mikroklímy
- h – hrúbka materiálu

Obr. č. 2 Prestup tepla konvekciou [1]

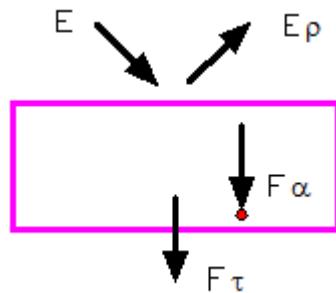
3.4.3 Prenos tepla žiarením – radiácia

Teploto je predávané z pokožky do okolia a naopak je pokožkou prijímané prostredníctvom infračerveného žiarenia, ktoré vydávajú všetky telesá. Výdaj tepla je závislý na teplote, vlhkosti okolia a odhalení tela. Podľa Stefan – Boltzmanovho zákona platí [11]:

$$E = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4, \quad (5)$$

kde skratky znamenajú :

E	intenzita vyžarovania [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
T^4	absolútna teplota [K]
ε	povrchová emisivita
σ	Stefan-Boltzmannova konštanta [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$]



E	hustota žiariaceho toku dopadajúceho
$E\rho$	hustota žiariaceho toku odrazeného
$E\alpha$	hustota žiarivého toku absorbovaného
$E\tau$	hustota žiarivého toku prejdenného objemom

Obr. č. 3 Rozptyl žiarenia po dopade na objekt [1]

3.4.4 Prenos tepla odparovaním – evaporácia

Odparné teplo Q_0 je také množstvo tepla, ktoré odchádza z kože nepoznateľným potením a je závislé na mernom skupenskom výparnom teple a na rozdiel parciálnych tlakov vodných pár [11].

$$Q_0 = \Delta i \cdot m_K \cdot S \cdot \Delta p \quad p_K > p_0 \quad (6)$$

kde skratky znamenajú :

Δi	merné výparné skupenské teplo [J]
m_K	permabilita kože [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1}$]
Δp	rozdiel parciálnych tlakov vodných pár [Pa]
	$\Delta p = p_K - p_0$
p_K	tlak pary pri určitej teplote kože v medzivrstve [Pa]
p_0	tlak okolitého vzduchu [Pa]

3.4.5 Prenos tepla dýchaním - respirácia

Respiračný odvod tepla Q_d je realizovaný dýchacími cestami a jeho množstvo je dané rozdielom množstva pár vdychovaných a vydychovaných [11].

$$Q_d = \Delta i \cdot (W_{ex} - W_a) \cdot 1/t, \quad (7)$$

kde skratky znamenajú :

Q_d	respiračný odvod tepla [J]
Δi	merné výparné skupenské teplo [J]
W_{ex}	množstvo vodných pár vdychovaných [kg]
W_a	množstvo vodných pár vydychovaných [kg]
t	čas [s]

4. VPLYV PRÚDIACEHO VZDUCHU

Tepelný komfort, ktorý pociťuje človek na vonkajšom prostredí, nezávisí len na teplote okolia, ale i jeho relatívnej vlhkosti, intenzite slnečného svitu a rýchlosti vetra (nútená konvekcia). Tepelná strata spôsobená nútenou konvekciou je úzko spojená s rýchlosťou a charakterom prúdenia okolitého vzduchu. Vyššiu tepelnú stratu organizmu spôsobuje turbulentne prúdiaci vzduch, kde sa jednotlivé jeho časti intenzívne miesia a dochádza ku stenčovaniu tepelnej medznej vrstvy [10].

Stav, kde je rýchlosť prúdenia okolo ľudského tela $0, 25 \pm 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ je z hľadiska termofyziologického komfortu ideálny, vo vonkajšom prostredí je len zriedka dosahovaný. Odev je v prevažnej väčšine nútený chrániť ľudské telo pred klimatickými podmienkami, v ktorých je vietor významným ochladzujúcim efektom. V nárazoch dosahuje rýchlosť vetra bežne hodnoty $10 - 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Okrem tejto pasívnej role vetru vytvára človek prúdenie vzduchu okolo seba i aktívne svojím pohybom, napr. jazdou na bicykli (typicky $10 \div 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), behom ($5 \div 7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), bežkovaním ($7 \div 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) a pod. To sú činnosti, pri ktorých dochádza ku zvýšenej svalovej záťaži a teda i významnej produkcii tepla. Existujú činnosti, pri ktorých k takým výrazným produkciám tepla nedochádza. Ide napríklad o zjazdové lyžovanie (až $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) alebo jazdu na motocykle (až $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Pri týchto činnostiach sú dobré tepelnoizolačné vlastnosti odevu jednou z nutných podmienok aj vtedy, ak nie je teplota okolitého vzduchu extrémne nízka.

Rýchle prúdiaci vzduch ochladzuje oblečený ľudský organizmus veľmi výrazne a to tromi zásadnými spôsobmi :

- rýchle odvádza prestupujúce teplo z povrchu vonkajšej časti odevu,
- stlačuje odev, čím dochádza ku zmenšovaniu objemu uzavretého vzduchu v textílii a poklesu tepelného odporu,
- preniká do štruktúry textílie, čím narušuje izolačné vlastnosti vzduchu uzavretého v textílii a môže priamo ochladzovať pokožku [10].

Vplyv vetra na termofyziologický komfort sa snaží vystihnúť Wind chill teplotný index (WCT). Uvedený index popisuje rozsah tepelných strát organizmu spôsobených kombináciou nízkej teploty a vetra. So stúpajúcou rýchlosťou vetra dochádza k rýchlejšiemu ochladeniu organizmu, tj. zníženie povrchovej, prípadne telesnej teploty. Pre výpočet indexu sa používa vzťah :

$$T_{WC} = 13,12 + 0,6215 \cdot T - 11,37 \cdot v^{0,16} + 0,3965 \cdot T \cdot v^{0,16}, \quad (8)$$

kde skratky znamenajú :

T_{wc}	Wind chill teplotný index [°C]
T	teplota vzduchu [°C]
v	rýchlosť prúdenia vzduchu [Km . h ⁻¹]

Hodnota T_{WC} je síce uvádzaná v stupňoch celsia, nejde však o hodnotu objektívnu, ale o momentálnu teplotu, ktorú človek pociťuje [12].

5. TEPELNOIZOLAČNÉ VLASTNOSTI ODEVOV

Tepelnoizolačné vlastnosti odevov patria k základným vlastnostiam odevu, ktoré určujú jeho termofyziologický komfort – alebo subjektívny pocit pohodlia človeka, ktorý daný odev nosí.

Tepelnoizolačné vlastnosti sú podľa ČSN 800351 schopnosť zabraňovať prestupu tepla. Patria k dôležitým parametrom textílií. Sú to vlastnosti, ktoré spolu s priedušnosťou a schopnosťou prepúšťať vodné pary patria k hlavným fyziologicko – hygienickým vlastnostiam odevov [13].

6. VRSTVENIE ODEVOV

Človek si udržuje telesnú teplotu regulačnými prostriedkami na stálej hodnote. K regulácii mu nemalou mierou prispieva vhodne zvolený odev, ktorý nielenže chráni telo proti poveternostným vplyvom, ale tiež pomáha telu pri termoregulácii, napr. odvodom vodných pár z povrchu kože. Aby bol regulačný efekt čo najväčší je potrebné odev vhodne vrstviť.

Dnes najčastejšie používaným systémom vrstvenia je trojvrstvový systém (obr. č. 4) zložený z funkčnej bielizne, tepelnoizolačnej vrstvy a ochrannej vrstvy [2].



Vrstva 1 - termobielizeň a ponožky

- mikroklima – odvádza pot od pokožky

Vrstva 2 - zimná spodná bielizeň alebo mikina

z materiálu fleece

- izolácia – udržuje telesnú teplotu

Vrstva 3 - zvrchné oblečenie (bunda z

parapriepustného materiálu)

- ochrana proti vonkajším vplyvom

Obr. č 4 Systém funkčného oblečenia [2]

6.1 Prvá vrstva (sacia)

Túto základnú vrstvu (obr. č. 5) tvorí funkčná spodná vrstva, je považovaná za základnú bielizeň. V celom systéme oblečenia je to najdôležitejšiu časť. Hlavnou funkciou tejto vrstvy je odvádzať pot od pokožky smerom do ostatných vrstiev a udržiavať tak pokožku tela neustále v suchu. Prvá vrstva vo forme funkčnej spodnej bielizne nielenže odoberá vlhkosť z povrchu tela, ale tiež zabraňuje tepelným stratám organizmu. Vyrába sa zo syntetických vlákien, ktoré neabsorbujú prijímanú vlhkosť (ako je tomu u prírodných vlákien), ale odvádzajú ju do ďalších vrstiev tzv. knôtovým efektom. Výhodou funkčnej spodnej bielizne je tiež to, že rýchle uschne. Na českých trhoch sa dnes vyskytuje niekoľko domácich a zahraničných značiek, ktoré vyrábajú bielizeň z dvoch základných syntetických materiálov – PP a PES, sú to napr. 2F, Craft, Klimatex, Sensor, Moira [14].



Obr. č. 5 Funkčné dámske tričko [14]

6.2 Druhá vrstva (izolačná)

Táto vrstva (obr. č. 6) plní predovšetkým funkciu tepelnoizolačnú. Jej primárnou úlohou je obmedziť stratu tepla. Vďaka špeciálnej väzbe a použitým vláknam je v štruktúre textílie obsiahnutý vzduch, ktorý plní izolačnú funkciu a zadržiava tak telesné teplo. Táto vrstva tiež pomáha odvádzať pot vo forme vodnej pary do ďalších vrstiev a ďalej do okolia. Tým dokonale nadväzuje na činnosť spodnej bielizne a pokračuje v odvoде vlhkosti. Na druhú vrstvu sa používajú najčastejšie rôzne typy fleecových materiálov (pojmom fleece sú dnes nazývané všetky kefované úplety zo syntetických vlákien) [14].

V dňoch letných a jarných, kedy je používaná zároveň ako vrchná vrstva, je dôležitá tiež jej vetruvzdornosť. Väčšina textilných materiálov však nechráni proti vetru dostatočne, preto ponúkajú niektorí výrobcovia odevy v kombinácii s vetruodolnou membránou (Windstopper, No wind ap.). Tým už preberá druhá vrstva úlohy vrstvy tretej [14].



Obr. č. 6 Pánska mikina s kapucňou [14]

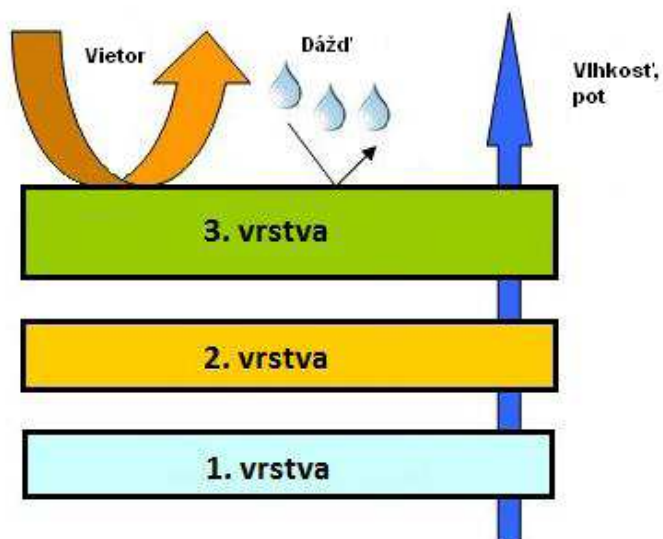
6.3 Tretia vrstva (ochranná)

Tretia vrstva oblečenia (obr. č. 7) tvorí bariéru medzi organizmom a okolím a chráni telo pred nepriaznivým počasím. Vrchné oblečenie (bundy, nohavice) musia byť nepremokavé, aby vlhkosť neprenikla k telu, zároveň ale veľmi priedušné, aby sa vlhkosť vyprodukovaná telom odparovala ľahko von. Dôležitá je tiež vetruvzdornosť a odolnosť materiálu voči mechanickému poškodeniu. Vetruvzdornosť materiálu je dôležitá preto, aby sa zabránilo ochladzovaniu pokožky vetrom. Existuje rada materiálov (Gore Tex, Sympatex, Climatic a iné), ktoré dokážu týmto vplyvom vyhovieť vždy, ale len do určitej miery [14].



Obr. č. 7 Dámska softshellová bunda [14]

Je dôležité dodržiavať zásady vrstveného obliekania pre dosiahnutie čo najlepších výsledkov. Vrstvy medzi sebou navzájom spolupracujú (obr. č. 8) a vytvárajú tak spoločný, doplňujúci sa komplex. Porušenie vrstveného systému, oblečením nesprávnej kombinácie určitého typu vrstvy, sa naruší vzájomný súlad a spolupráca medzi vrstvami a nemôže byť dosiahnuté požadovaného komfortu [15].



Obr. č. 8 Funkcia trojvrstvového systému odevu [16]

Všetky vrstvy od prvej po poslednú by mali spolupracovať na transporte vlhkosti a dohromady zaisťovať potrebný termofyziologický komfort. Pritom práve prvá vrstva odevu býva najviac podceňovaná. Použitím nesprávneho druhu spodnej bielizne, najmä pri zvýšenej námahe a potení sa výrazne obmedzia funkčné vlastnosti ostatných vrstiev odevov, aj keby tieto vrstvy samé o sebe zaisťovali výborný termofyziologický komfort.

Počet vrstiev oblečenia sa mení v závislosti na klimatických podmienkach. Do extrémnych podmienok sa odporúča použitie aj piatich vrstiev oblečenia. Vzduch obsiahnutý medzi jednotlivými vrstvami totiž zvyšuje tepelný odpor odevu. Navyše je možné jednotlivé vrstvy odevu pri zmenách počasia jednoducho vyzliekať a obliekať [16].

7. FAKTORY OVPLYVNÚJÚCE TEPELNOIZOLAČNÉ VLASTNOSTI MATERIÁLOV

Materiály, ktoré sú schopné obmedziť šírenie tepla sú izolačné materiály (tepelné izolácie). Zvláštnu skupinu izolačných materiálov tvoria vláknové izolácie, ktorých vlastnosti sú odvodené od rady okolností ako je priemer vlákna, smer toku tepla a iné. Najdôležitejšou vlastnosťou izolačných materiálov je tepelná vodivosť. Jej veľkosť nie je konštantná a mení sa v následku pôsobenia jednotlivých vplyvov [17].

7.1 Prítomnosť vzduchu v textílií

Odevné materiály môžu mať veľmi rozdielne tepelnoizolačné vlastnosti, pritom sa ale ukazuje, že v tepelnej vodivosti vlákien príliš veľké rozdiely nie sú. Ďaleko väčší význam má štruktúra textílie, najmä prítomnosť vzduchu v hotovej textílii. Vzduch, pokiaľ je v textílii uzatvorený a nemôže prúdiť, je veľmi dobrým tepelným izolantom. Množstvo a rozdelenie vzduchu v textilnom materiáli je hlavnou podmienkou dobrých izolačných vlastností odevov [17]. Súčiniteľ tepelnej vodivosti vzduchu λ_{vzduch} [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] sa s jeho teplotou mení len minimálne. Pri -50°C je $\lambda_{\text{vzduch}} = 0,0206 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, pri 0°C $\lambda_{\text{vzduch}} = 0,0241 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ a pri $+50^\circ\text{C}$ $\lambda_{\text{vzduch}} = 0,0272 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ [18].

7.1.2 Vplyv jemnosti vlákien

S prítomnosťou vzduchu v textílií je úzko spätá jemnosť, dĺžka a skučeravenie vlákien. Použitie jemných a skučeravených vlákien umožňuje získať veľký počet uzavretých pórov naplnených vzduchom. Tepelná vodivosť závisí na veľkosti vzduchových komôrok. V menších vzduchových komôrkach sa teplo prenáša prevažne vedením, zatiaľ čo vo väčších k tomuto prenosu môže pristúpiť aj prenos prúdením [17].

7.1.3 Vplyv štruktúry textílie a jej stlačenia

Použitie jemných vlákien síce zvyšuje objem vzduchu uzatvoreného v medzivláknennom priestore, ale na druhej strane textília zložená z jemných vlákien je menej odolná proti stlačení. Stlačiteľnosť je z hľadiska tepelnoizolačných vlastností nežiadanou vlastnosťou. Použitie hrubých vlákien zasa obmedzuje stlačiteľnosť, ale zvyšuje priedušnosť textílie, čím umožňuje prenos tepla prúdením, čo výrazne zhoršuje tepelnoizolačné vlastnosti textílie. Preto je vždy nutné zaistiť optimálne zloženie vláknovej zmesi s ohľadom na jej izolačnú schopnosť a stlačiteľnosť [17].

7.2 Vplyv priestorovej orientácie vlákien

Tepelný tok, ktorý je paralelný s orientáciou prevažnej väčšiny vlákien, spôsobuje vyššiu tepelnú vodivosť textílie, než tepelný tok na vlákna kolmé. Je to spôsobené faktom, že pri toku tepla súbežne s orientáciou vlákien, tieto vytvoria súvislú vodivú vrstvu, zatiaľ čo pri toku tepla kolmo k uloženiu vlákien je táto vodivá vrstva prerušovaná vzduchovými medzerami. Stlačovanie môže výrazným spôsobom ovplyvniť priestorovú orientáciu vlákien textílií [17].

7.3 Vplyv vlhkosti

Voda je radovo lepším vodičom tepla než vzduch a textilné materiály $\lambda_{\text{voda}(10^{\circ}\text{C})} = 0,587 \text{ W} \cdot \text{m}^1 \cdot \text{K}^{-1}$, $\lambda_{\text{voda}(40^{\circ}\text{C})} = 0,627 \text{ W} \cdot \text{m}^1 \cdot \text{K}^{-1}$ [18]. Prítomnosť vody (alebo potu) v textilnom materiály môže výrazne ovplyvniť tepelnoizolačné vlastnosti textílie. V tejto súvislosti sú tepelnoizolačné vlastnosti textílie ovplyvnené :

a) nasiakavosťou vlákien

Nasiakavosť vlákien textílie je jednou z vlastností ovplyvňujúcej celkové množstvo vody v textilnom priemysle. Vlhkosť vlákien je normovaná podľa ČSN za štandardných podmienok : relatívna vlhkosť $\varphi = 60\% \pm 2^{\circ}\text{C}$. Viac vlhkosti prijímajú vlákna prírodné a sú viac závislé na okolitej vlhkosti. Významným faktorom majúcim vplyv na fyziologický komfort je aj rýchlosť absorpcie vlhkosti do vlákien. Rýchle a značné pohlcovanie vlhkosti materiálom je žiadané pre vnútorné vrstvy odevu, ktoré tak pomáhajú zachovávať priaznivú mikroklimu pod odevom – absorbujú (príp. čiastočne i odvedú) vlhkosť z pokožky, zvýši tým svoju tepelnú vodivosť, čo napomôže zníženiu teploty pod odevom a k ochladeniu tela [17].

b) prítomnosťou tekutiny v medzivláknennom priestore

Okrem vlhkosti vo vláknach môže byť voda, pot, eventuálne iná tekutina prítomná v textilnom materiály vo forme kvapôčok v medzivláknennom priestore. Množstvo tekutiny v medzivláknennom priestore závisí na adhézii tekutiny k vláknitému materiálu, objemu medzivláknenného priestoru a štruktúre textílie. Čím hustejšia a hrubšia je textília, tým vodu pomalšie nasáva i vydáva a absorbuje jej viac.

c) absolútnou nasiakavosťou vzduchu

Ďalším aspektom ovplyvňujúcim nasiakavosť textílie je absolútna vlhkosť vzduchu, alebo množstvo vodnej pary aktuálne prítomnej vo vzduchu. S množstvom vodnej pary vo vzduchu priamo súvisí teplota vzduchu, pretože schopnosť vzduchu prijímať vodnú paru je závislá práve na teplote.

d) relatívnou vlhkosťou vzduchu (RH)

V prípade relatívnej vlhkosti vzduchu je dôležitý moment, kedy sa RH okolie blíži 100%, okolitý vzduch je vlhkosťou úplne nasýtený a voda v textílii sa nemôže odparovať a textília tým schnúť [17].

7.4 Vplyv prítomnosti oxidu uhličitého

Ak je v vzduch v odeve nahradený iným médiom, tepelnoizolačné vlastnosti sa až na výnimky zhoršia. Výnimkou je oxid uhličitý (CO_2), ktorý je vylučovaný pokožkou ako produkt dýchania. Súčiniteľ tepelnej vodivosti oxidu uhličitého je $0,0147 \text{ W} \cdot \text{m}^1 \cdot \text{K}^{-1}$ (pri teplote 0°C a tlaku $1,013 \text{ baru}$). Jeho tepelná vodivosť je oproti vzduchu skoro polovičná a je možné predpokladať, že prítomnosť CO_2 vo vzduchových komôrkach textílie nezhorší jej tepelnoizolačné vlastnosti [17].

8. HODNOTENIE TEPELNOIZOLAČNÝCH VLASTNOSTÍ ODEVOV

Na tepelnoizolačné vlastnosti odevov má vplyv celá rada fyzikálnych veličín, ktoré sú hodnotené rôznymi prístrojmi a metódami.

8.1 Fyzikálne veličiny

Existuje niekoľko fyzikálnych veličín, ktorými je možné tepelnoizolačné vlastnosti odevov kompletne hodnotiť, pričom každá z nich vyjadruje tieto vlastnosti z iného pohľadu.

8.1.1 Tepelná vodivosť λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

Charakterizuje schopnosť látok viesť teplo za stacionárnych podmienok, keď je tepelný tok ustálený tak, že rozloženie teplôt vo vnútri látok sa nemení. Číselne je to tepelný tok, ktorý nastane pri ustálenom stave vrstvou s hrúbkou 1 m a plochou 1 m^2 pri rozdieli teplôt 1 K na oboch stranách vrstvy. U odevných materiálov sa pohybuje v rozmedzí $0,033 - 0,070 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Tento súčiniteľ nie je konštantný, môže sa meniť v závislosti na rôznych činiteľoch ako je objemová hmotnosť materiálu, vlhkosť, teplota vzduchu v okolitom prostredí, priedušnosť a smer tepelného prúdenia. Je možné ju definovať pomocou Fourierovho zákona [19]:

$$\lambda = - \frac{q}{\text{grad } T}, \quad (9)$$

kde skratky znamenajú :

q	hustota tepelného toku [$\text{W} \cdot \text{m}^2$]
$\text{grad } T$	gradient teploty [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$]

Materiály s veľkou hodnotou tepelnej vodivosti sú označované ako vodiče tepla ($\lambda > 2$), pri nízkej tepelnej vodivosti ako izolátory ($\lambda < 0,1$) [19].

8.1.2 Tepelná absorpcia **$b [W \cdot m^{-2} \cdot s^{1/2} \cdot K^{-1}]$**

Parameter zavedený profesorom Hesom charakterizuje tepelný ohmat a predstavuje množstvo tepla, ktoré pretečie pri rozdiel teplôt 1 K jednotkou plochy za jednotku času v dôsledku akumulácie tepla v jednotkovom objeme. Platí [19] :

$$b = \sqrt{\lambda} \cdot \rho \cdot c, \quad (10)$$

kde skratky znamenajú :

λ	merná tepelná vodivosť $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
ρ	merná hmotnosť $[kg \cdot m^3]$
c	merná tepelná kapacita $[J/kg \cdot K]$

8.1.3 Tepelný odpor **$R [W^{-1} \cdot K \cdot m^2]$**

Udáva odpor, ktorý materiál kladie priechodu tepla. Je charakterizovaný množstvom tepla, ktoré prejde za jednotku času jednotkou plochy pri teplotnom spáde 1 K. Pre hodnotenie tepelnoizolačných vlastností textílií má tepelný odpor najväčší význam. Je to dané tým, že významným faktorom ovplyvňujúcim priamo tepelnoizolačné vlastnosti textílie je hrúbka materiálu a to nezávisle na jeho vlákňovom zložení a hustote. Hodnoty tepelného odporu sú výstupom väčšiny meracích metód [19].

$$R = \frac{\Delta t}{Q} = \frac{h}{\lambda}, \quad (11)$$

kde skratky znamenajú :

Δt	rozdiel teplôt $[K]$
Q	teplo $[J]$
h	hrúbka $[mm]$
λ	tepelná vodivosť $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$

Najvýznamnejším faktorom ovplyvňujúcim tepelný odpor a tým aj priamo tepelnoizolačné vlastnosti je hrúbka materiálu, čo je kolmá vzdialenosť medzi dvoma definovanými doskami, pričom na textíliu pôsobí prítlak 1 kPa alebo nižší.

Sú používané aj iné, alternatívne jednotky súvisiace s tepelným odporom – jednotky TOG a CLO. Jednotka 1 TOG má zhodné jednotky ako tepelný odpor [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$] a súvisí s ním vzťahom $1 \text{ TOG} = 0,1 \cdot R$ [19].

8.1.4 Teplotná vodivosť α [$\text{m}^2 \cdot \text{S}^{-1}$]

Súčiniteľ teplotnej vodivosti α vyjadruje rýchlosť šírenia tepla materiálom. Čím je hodnota teplotného súčiniteľa vyššia, tým rýchlejšie v materiály nastáva vyrovnanie teplôt. Vzťah pre výpočet sa udáva v tomto tvare [19]:

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot cp}, \quad (12)$$

kde skratky znamenajú :

ρ	merná hmotnosť materiálu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
λ	súčiniteľ tepelnej vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
c	merná tepelná kapacita materiálu [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

8.1.5 Tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$]

Tepelná kapacita je definovaná ako schopnosť látky prijímať teplo. Ak prijme teleso teplo dQ [J] a následne sa zvýši jeho teplota dT [K] teleso má tepelnú kapacitu definovanú :

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (13)$$

Ak je tepelná kapacita vzťahnutá na jednotku hmotnosti m [kg], dostávame mernú tepelnú kapacitu c [$\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$] definovanú :

$$c = \frac{C}{m} = \frac{dQ}{dT \cdot m} \quad (14)$$

Merná tepelná kapacita je množstvo tepla dQ [J], ktoré je potrebné k ohriatiu látky s hmotnosťou m 1 kg s teplotou dT 1 K. Odevy s vysokou mernou kapacitou sú vhodné v zimnom období. Teplo produkované človekom sa v takomto odevu drží dlhšiu dobu [19].

9. VPLYV WIND CHILL EFEKTU A POTU NA MERNÚ TEPELNÚ VODIVOSŤ

Práca v zime a vonku v severných zemepisných šírkach alebo horolezectvo vo vysokých nadmorských výškach vyžaduje výber materiálov s čo najlepšimi izolačnými vlastnosťami. Vedci testovali materiály v špeciálnej skúšobnej komore (obr. č. 9) tak, aby neskôr výrobca mohol odporučiť vhodný odev do daného počasia. Táto komora bola použitá k prevedeniu série experimentov na určenie tepelnej vodivosti a tepelného odporu 12 rôznych druhov tkanín. Statické skúšky a testy boli prevedené tak, že zahrňovali pridávanie zmáčacieho zariadenia a simulácie kože, potu a zároveň pridávanie simulovaného vetra [20].

Tepelná vodivosť je súčiniteľ úmernosti, ktorá kvantifikuje účinnosť jednosmerného prestupu tepla na jednotku plochy cez látku.

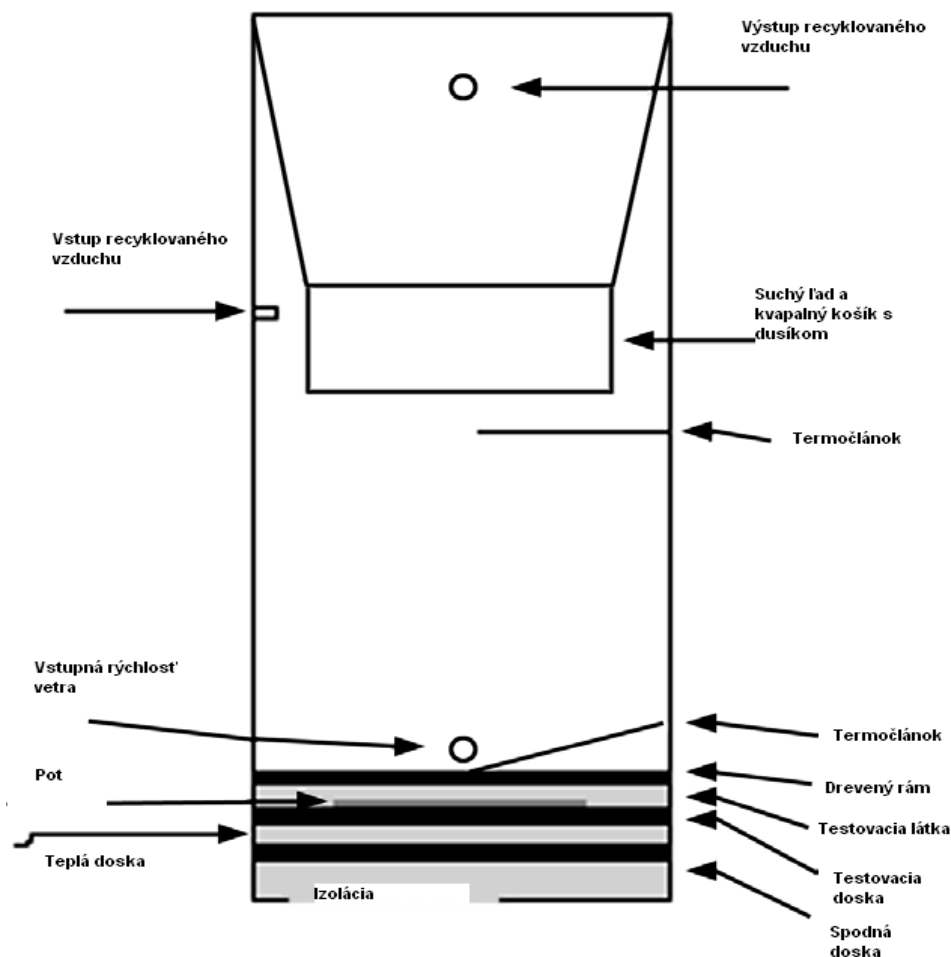
Je dôležité predpokladať, že tepelná vodivosť je lineárna s ohľadom na teplotu. Aj keď tento predpoklad nie je na 100% istý, relatívne tenké vrstvy testovaného materiálu vedcov uistili, že odchýlky od tohto predpokladu nemajú vplyv na závery výsledkov. Tepelný odpor je miera materiálu, je to vlastne odpor voči prúdeniu tepla. Matematicky je tepelná odolnosť, hrúbka materiálu delená tepelnou vodivosťou materiálu. Tepelná vodivosť a odpor sú pre textílie veľmi dôležité hlavne pri použiteľnosti odevu v studenom počasi. Nízka tepelná vodivosť znamená, že textilný materiál má vysokú odolnosť voči prúdeniu vetra. To znamená, že ak sú dve tkaniny rovnakej hrúbky, materiál s nižšou tepelnou vodivosťou odvedie menej tepla z tela a tým umožní pohodlnejšie nosenie za studených extrémnych podmienok. Striedavo pre danú úroveň komfortu (to je tepelnej straty), materiál s nižšou tepelnou vodivosťou môže byť tenší a tak oblečenie bude menej objemné [20].

Tenké, pohodlné oblečenie je ideálne hlavne pre aktívnych ľudí nachádzajúcich sa vo vonkajšom prostredí, ako sú pracovníci na stavbách a športovci. Tepelný odpor je opatrený celkovou účinnosťou na základe kombinácie tepelnej vodivosti materiálu

a hrúbky. Dva materiály s rôznou tepelnou vodivosťou môžu mať rovnakú hodnotu odporu a ich hrúbky sa zodpovedajúcim spôsobom líšia. Obe hodnoty sú dôležité pri navrhovaní a vyhodnocovaní určitých druhov oblečenia. Majiteľ odevu sa pri nosení bežne spotí, voda má významný vplyv na textílie a tepelnú vodivosť. Jedným spôsobom, kde sú u tkaniny znížené tepelné straty, je metóda pomocou mikro malého vzduchového vrečka zapúzdreného v tkanine. Zmäčanie takejto látky často nahradí vzduch v dutinách s vodou a pretože voda vedie teplo oveľa efektívnejšie než vzduch, celková tepelná vodivosť tkaniny sa zvyšuje. Tento efekt môže byť obmedzený : pomocou hydrofóbnej (vodu odpudzujúcej) vnútornej vložky, pomocou hydrofóbnej izolačnej tkaniny alebo zvýšením pórovitosti tkaniny. Vietor a chlad zvyšujú tepelné straty priebežne odstraňujú horúci vzduch od povrchu oblečenia. Tým sa zvyšuje hnacia sila pre stratu tepla z tela von a preto je menej pohodlné nosenie v extrémne chladných podmienkach. Všeobecne platí, že ochladzovanie vetrom by nemalo mať vplyv na relatívnu účinnosť odevného materiálu. Počítanie prestupu tepla pomocou ekvivalentnej globálnej teplotnej vodivosti môže byť užitočné pre odevných návrhárov. Tieto informácie umožňujú návrhárovi pomocou statickej tepelnej vodivosti prispieť k celkovému pohodliu užívateľa tým, že lepšie pochopia ako veľké tepelné straty je možné očakávať v poveterných podmienkach [20].

Experimentálna skúšobná komora (obr. č. 9) bola navrhnutá a vybudovaná v súlade so špecifikáciou uvedenou v ASTM (2003) D standard 1518-1585. Táto komora je umiestnená vo vnútri izolovaného chladiaceho boxu. Teplota v komore je ovládaná pomocou externého chladiča, chladenie vplýva na teplotu prúdu výmeny vzduchu so vstupným a výstupným pripojením ďaleko od povrchu textílie v studenej komore tak, že tieto výmeny vzduchu neovplyvňuje ovzdušie medznej vrstvy priliehanej k povrchu textílie. Vytápanie je využitie na 720 W, látka sa umiestni na spodnú dosku testu. Postup merania spočíva v tom, že jeden z 12 vzoriek textílií je umiestnený v komore na hornej medenej doske a je udržiavaný pozdĺž dreveného rámu. Doska je pod napätím až kým nedosiahne požadovanú teplotu simulujúcu ľudskú vonkajšiu teplotu kože. Blok suchého ľadu (zmrznutý oxid uhličitý, CO₂) alebo nádobka s kvapalným dusíkom je vložená do košíku visiacom vo vnútri skúšobnej komory, aby teplota skúšobnej miestnosti bola na požadovanej úrovni, ktorá simuluje poveternostné podmienky. Skúšobná komora je utesnená. S teplotami nad a pod textíliou na ich požadovanú počiatočnú a stabilnú hodnotu (stabilná hodnota je aspoň 15 min), je zahájený experiment. Každý proces trvá 1 hodinu, behom tejto doby je teplota

zaznamenávaná na siedmich miestach v skúšobnej komore. Pri statických skúškach so suchým ľadom teplota väčšiny tkanín bola medzi 8 až 13°C za hodinu skúšobného obdobia [20].



Obr. č. 9 Špeciálna skúšobná komora [20]

9.1 Simulácia potného testu

Súbor experimentov bol prevedený za podmienok, ktoré môžu nastať pri námahe (tj. v prípade, že nositeľ odevu sa potí), experimentálny postup pre tieto skúšky je totožný s tým, ktorý sa používa pre statické skúšky. Teplota dosky je bez napätia na začiatku každej skúšky (pri simulácii telesnej teploty), prietok vody je zahájený ako simulácia potu. Proces sa zastaví po 1 hodine [20].

9.2 Wind chill simulácia skúšobného postupu

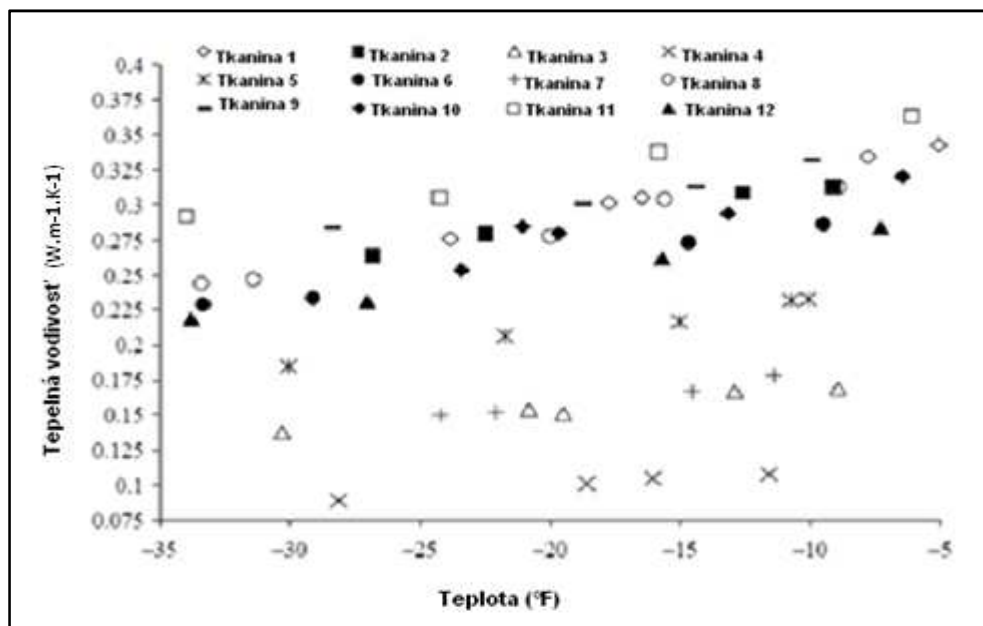
Súbor experimentov prebieha testovaním textílií na ich schopnosť odolávať vetru a chladu. Tieto skúšky používajú takmer rovnaký postup ako pri statickej skúške, s jedným malým rozdielom, že keď sa spustí vlastný pokus, stlačený vzduch sa obráti na vopred nastavenú rýchlosť vetra. Táto rýchlosť vetra je konštantná celú hodinu [20].

9.3 Výsledky

Statické experimenty sú prevádzané na 12 textilných materiáloch pri 4 až 5 rôznych teplotách v rozmedzí od 0 do -35°F pomocou suchého ľadu ako chladiaceho média. Doplnkové experimenty boli vykonávané pri teplote v rozmedzí od -29 až -115°F pomocou dusíka používaného ako chladiace médium. Tento ultrastudený test je prevedený tak, aby sme mohli správne kvantifikovať vzťah medzi vlastnosťami materiálu izolačnej a chladnej teploty pri rozmedzí -100 až 0°F. [20].

Na obrázku č. 10 je znázornená tepelná vodivosť každej z 12 tkanín podľa prevedenej skúšky. Výsledky je možné rozdeliť do štyroch ekvivalentných skupín látok. Najlepšia skupina (pokiaľ ide o izolačné vlastnosti) je skupina 1, ktorá pozostáva len z tkaniny číslo 4. Druhá najlepšia skupina sa skladá z tkaniny číslo 3 a 7, ktoré mali v podstate rovnakú vodivosť. Tretia najlepšia skupina sa skladá len z tkaniny číslo 5, zatiaľ čo tkaniny s najvyššími hodnotami, ktoré teda predstavujú najhoršie izolačné vlastnosti, boli čísla 2, 1, 12, 10, 6, 8, 9 a 11, ktoré mali podobné vodivosti (v rámci štatistickej presnosti testov).

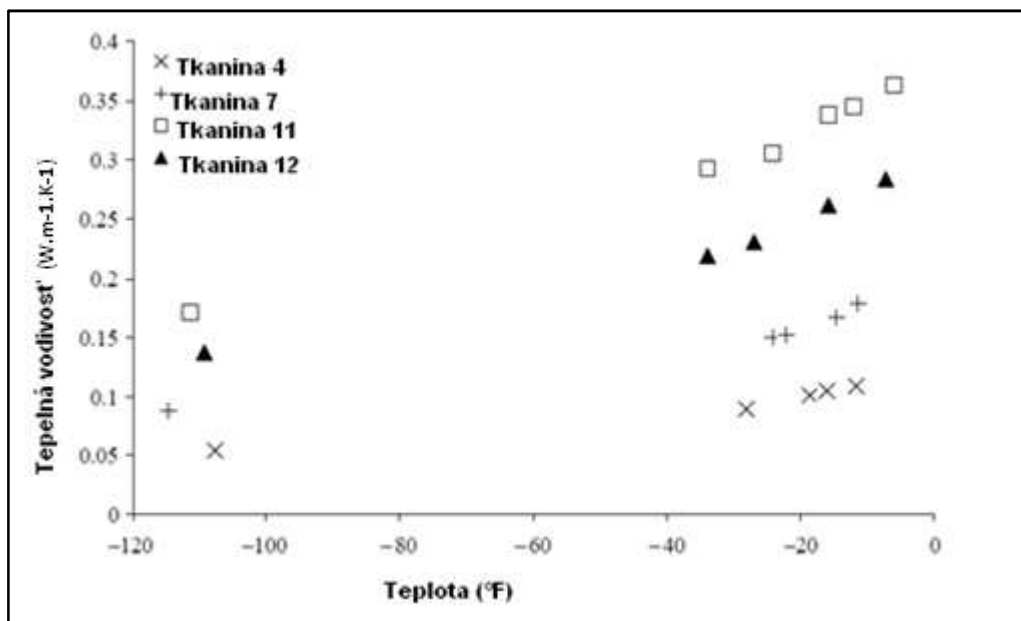
Ak chceme získať tepelné vodivosti a tepelné odpory 12 neznámych tkanín pri extrémne nízkych teplotách, použijeme tekutý dusík [20].



Obr. č. 10 Tepelná vodivosť v závislosti na teplote pomocou chladenia suchým ľadom [20]

9.4 Výsledky potného testu

Obrázok č. 11 ukazuje tepelnú vodivosť určenú z testov, pri ktorých bol pot simulovaný slabým prameňom vody na koži s priložením tkaniny. S porovnaním obrázku č. 11 vidíme mnoho látok ovplyvnených potom. Najviac pozoruhodné je, že tkanina číslo 4 má aj naďalej najnižšiu tepelnú vodivosť, a to aj za mokra. Tkaniny číslo 4 a 7 sú najviac zasiahnuté potom. Ich tepelná vodivosť je potom zmenená v porovnaní so statickými skúškami a sú vyhodnotené ako najhoršie textílie v podmienkach potenia [20].



Obr. č. 11 Tepelná vodivosť v závislosti na simulácii potu [20]

Tieto štúdie sú objektívnymi metódami pre testovanie textilných materiálov určených pre oblečenie pre výkon v extrémne chladnom počasí. Tabuľka č. 2 ukazuje relatívne poradie 12 tkanín pre statické podmienky, pot, vietor a chlad. Simulované podmienky založené na hodnotách tepelnej vodivosti sú uvedené v celkovom poradí a výkone ako izolačné materiály [20].

Zo všetkých výsledkov testov (tab. č. 2) za sucha, mokra, vetra alebo v pokoji je zrejmé, že tepelná vodivosť materiálu 4, Vaetrex0 je nižšia ako ktorákoľvek iná z testovaných látok. Z týchto údajov môžeme vyvodit', že odevy z Vaetrex0 majú potenciál k najlepším izolačným vlastnostiam. Pri akejkoľvek hrúbke materiálu, bude odev vyrobený z Vaertex0 brániť tepelným stratám najlepšie. Ďalšou najlepšou sa javí tkanina číslo 3, Cordura (pena), mikrovláknó. Druhou najlepšou je tkanina číslo 5, Primafoolt [20].

ID Tkaniny	Typ tkaniny	Statická skúška	Potná skúška	Wind chill skúška
4	Vaetrex0	1	1	1
3	Cordura(pena) mikrovlákn	3	2	3
7	Vaetrex30	2	7	2
5	Primaloft	4	3	4
6	Vaetrex60	6	4	7
12	Vaetrex3/4	5	12	5
8	Refrigiwear(polyfil)	8	9	6
2	Cordura (primaloft) mikrovlákn	9	8	9
10	Down	7	11	8
9	Samoco (polyfil)	11	5	11
1	Versatech(primaloft)Versatech	10	11	8
11	Vaetrex - 1	12	10	12

Tab. č. 2 Pozícia obchodných tkanín vzhľadom na izolačné vlastnosti pri statických, potných a veterných testoch [20]

10. PREHLAD METÓD A PRÍSTROJOV PRE MERANIE TEPELNOIZOLAČNÝCH VLASTNOSTÍ

Jednou z mnohých dobrých vlastností textílií je ich tepelnoizolačná schopnosť (nepriepustnosť tepla).

Pre meranie tepelnoizolačných vlastností existuje mnoho odlišných metód a prístrojov líšiacich sa princípom i aplikovateľnosťou.

Princípom všetkých metód merania tepelnoizolačných vlastností je privedenie tepla k textílii, jeho priechod skúmaným materiálom a odvod tepla. Pri tomto procese sú merané povrchové teploty, množstvo tepla na začiatku a konci deja, hrúbka textílie a iné. Meranie sa prevádza buď za stacionárneho stavu – teplota sa v závislosti na čase nemení alebo za nestacionárneho stavu – teplota sa v závislosti na čase mení. Ďalej je možné metódy rozdeliť podľa stavu tepelného toku na metódy dynamické a statické. Meranie za stacionárneho stavu je spoľahlivejšie a výsledok je presnejší. Nevýhodou je dlhá doba ustáľovania [21].

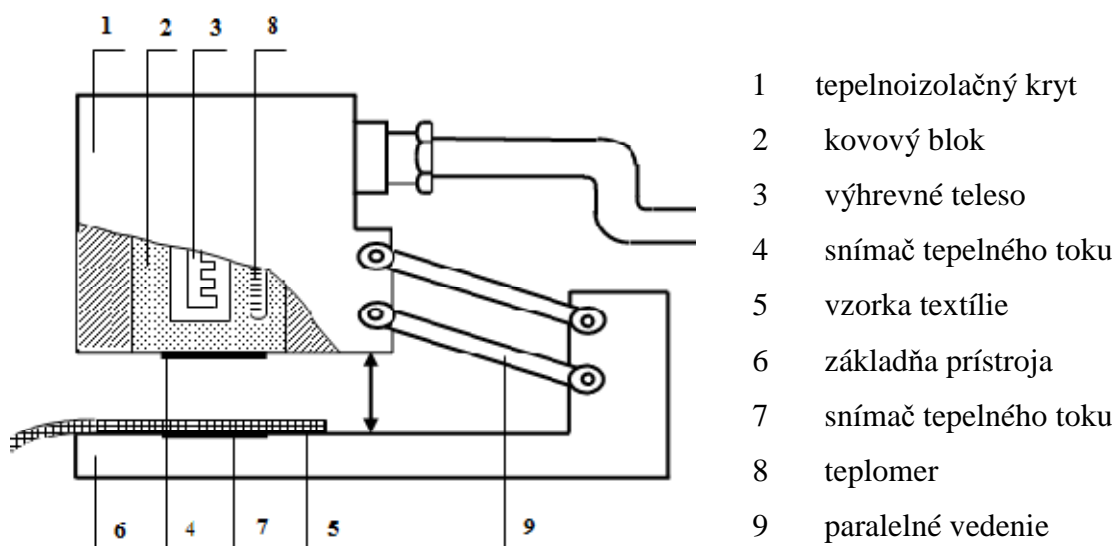
Obecne pracujú ďalej popísané metódy na troch základných princípoch :

- a) metódy ochladením – model tela (kože) je pokrytý odevom, ktorého vonkajší povrch je vystavený okolitému vzduchu a je merané jeho ochladzovanie,
- b) doskové metódy – meraná textília je umiestnená medzi dvoma doskami s rôznymi teplotami a je meraná hodnota tepelného toku vzorkou,
- c) metódy konštantnej teploty – model tela (kože) je obalený hodnotenou textíliou a je meraná energia vyžadovaná na údržbu kože s konštantnou teplotou [10].

V laboratórnych priestoroch KOD je možné tepelnoizolačné vlastnosti odevov merať na rôznych prístrojoch, ktoré sú bližšie špecifikované v ďalšej časti práce.

10.1 Alambeta

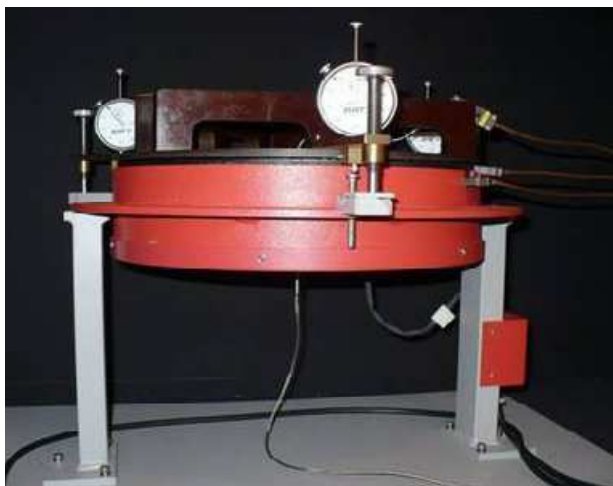
Tento prístroj (obr. č. 12) meria hodnoty závislé (tepelná absorpcia, tepelný tok) i nezávisle na čase (tepelný odpor, tepelná vodivosť). Prístroj je schopný vyhodnotiť štatistické údaje behom merania. V prístroji je zabudované samokontrolujúce sa zariadenie, ktoré zabráňuje chybám, ktoré nastanú pri meraní. Objektívne stanovená veličina je tepelná absorpcia. Teplota kontaktnej plochy je 35°C, podobne ako je tomu pri teplote ľudského tela. Prístroj meria nasledujúce hodnoty : tepelnú absorpciu, plošný odpor vedenia, hrúbku materiálu, pomer maximálneho a ustáleného tepelného toku, tepelný tok, mernú tepelnú vodivosť [1].



Obr. č. 12 Schéma prístroja Alambeta [1]

10.2 Prístroj Togmeter „SDL M 259“

Rovnako ako Alambeta je prístroj (obr. č. 13) určený na meranie tepelnoizolačných vlastností materiálov. Čím vyšší tepelný odpor je, tým sú lepšie tepelnoizolačné vlastnosti materiálu. Hlavným cieľom je dosiahnutie čo najvyššieho tepelného odporu pri čo najnižšej váhe a stlačiteľnosti produktu [22].



Obr. č. 13 prístroj Togmeter „SDL M 259“ [22]

10.3 Prístroj „PSM-2“

Nazývaný Skin model (obr. č. 14), je výrobok firmy GF Instruments. Umožňuje hodnotiť odolnosť voči vodným parám a tepelnú odolnosť podľa ČSN EN 31092. Tento prístroj musí byť umiestnený v klimatizovanej miestnosti s teplotou 20°C a relatívnou vlhkosťou 65%. Human Skin simulation meranie parapriepustnosti, čo je jedna z najdôležitejších vlastností predovšetkým pre materiály so záterom alebo membránou. Prístroj meria odolnosť voči vodným parám, kde základom je vyhrievaná zvlhčovaná porézna doska, ktorá predstavuje ľudskú kožu [22].

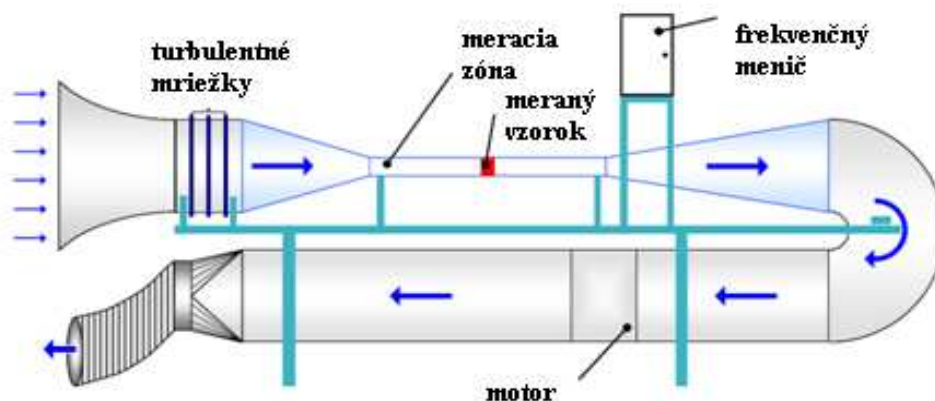


Obr. č. 14 prístroj „PSM-2“ [22]

10.4 Aerodynamický tunel

Na katedre odevníctva textilnej fakulty TUL bol v rokoch 2001 - 2002 zostavený aerodynamický tunel pre hodnotenie priedušnosti a tepelnoizolačných vlastností odevných textílií za podmienok prúdiaceho vzduchu (obr. č. 15). Tunel pracoval na princípe uzavretej cirkulácie vzduchu. V roku 2003 bolo vypracované riadenie tunelu pomocou počítača [23].

Charakteristickým rysom aerodynamických tunelov s vysokými rýchlosťami prúdiaceho vzduchu pri krátkej dĺžke je turbulentné prúdenie vzduchu s rôznou intenzitou turbulencie. Pre turbulentné prúdenie je charakteristická pulzácia a fluktácia všetkých veličín (rýchlosť, tlak, hustota...). Turbulentnému prúdeniu dominujú víry rôznej veľkosti. Prúdenie vzduchu, ktorého viskozita je veľmi nízka, sa pri vyšších rýchlostiach stáva rýchle turbulentná a takému charakteru je vystavené tiež ofukované (či obtečené) ľudské telo [10].



Obr. č. 15 Uzavretá forma aerodynamického tunelu [23]

10.5 Analyzátor tepelnej vodivosti TCi – C Therm TCI

Výrobok firmy C-THERM TECHNOLOGIES Ltd., Canada sa nachádza na katedre odevníctva fakulty textilnej na TUL. Je to prístroj (obr. č. 16) používaný na zisťovanie tepelnej vodivosti textilných štruktúr.

Moderné zariadenie predstavuje univerzálne riešenie pre meranie tepelnej vodivosti plošných textílií a odevov. Bol navrhnutý tak, aby jednoduchou metódou presne stanovil tepelné charakteristiky materiálov testovaných v laboratóriách pre účely

kontroly termofyziologických akostných znakov. Výhodou tejto metódy je nedeštruktívnosť, okamžité zobrazenie výsledkov merania a analýza bez nutnosti zložitej kalibrácie.

C-Therm TCI má možnosť testovať materiály s malou až žiadnou prípravou vzoriek a všestrannosť vyskúšať malé objemy vzoriek (približne veľkosti mince). Neexistujú žiadne obmedzenia, pokiaľ ide o to, aká veľká má byť vzorka. Skúšobná doba je obvykle behom niekoľkých sekúnd, celé je to založené na automatizovanom testovaní.

Prístroj pre meranie súčiniteľa tepla zdieľaného vedením poskytuje tepelnú analýzu pevných látok, kvapalín, práškov, pást a vláknitých vzoriek s rozsahom od 0 do $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ behom 5 sekúnd. S doplnkom klimatizačnej komory umožňuje meranie v rozsahu teplôt od -50°C do $+200^\circ\text{C}$. Prístroj stanovuje tepelnú vodivosť ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) a tepelnú absorpciu ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}$) na základné metódy prechodovej roviny a umožňuje podľa užívateľom zadaných kritérií spočítať mernú teplotnú vodivosť ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) a mernú tepelnú kapacitu ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).

Tepelná vodivosť materiálu je primárne určená priamym meraním tepelnej absorpcie (tepelnej zotrvačnosti) materiálu [24].

Prístroj používa jednostranný tepelne odrazový snímač, ktorý sa skladá z meracieho snímača, riadiacej elektroniky a počítačového softwaru. V snímači sa nachádza vykurovacie teleso, ktoré tvorí snímač v tvare špirály obomknuté ochranným krúžkom. Presne definovaný prúd je aplikovaný na snímač vykurovacieho telesa, ktoré potom produkuje malé množstvo tepla, ktoré prúdi behom testu smerom od senzoru do materiálu.

Výsledkom je nárast teploty na rozhraní medzi senzorom a vzorkou, obvykle je to menej než 2°C . Tento nárast teploty na rozhraní snímača vyvolá zmenu úbytku napätia na snímači. Tempo rastu napätia v snímači sa používa na určenie tepelno-fyzikálnych charakteristík materiálu vzoriek. Existuje tu nepriama úmera, alebo čím väčšia je tepelnoizolačná schopnosť materiálu, tým strmší je nárast napätia.

Výsledky merania sú zobrazené v reálnom čase na obrazovke počítača, kde potom môžu byť ďalej spracované [24].



Obr. č. 16 Analyzátor tepelnej vodivosti TCi – C Therm TCi [24]

Tabuľka č. 3 zobrazuje zhrnutie špecifikácií senzoru TCi :

Rozsah tepelnej vodivosti	$0 - 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Čas merania	0,8 – 0,5 s
Minimálny rozmer skúšanej vzorky	17 mm (priemer)
Maximálny rozmer skúšanej vzorky	neobmedzená
Minimálna hrúbka	nominálne (0,5 mm), závislá na tepelnej vodivosti skúšaného materiálu
Maximálna hrúbka	neobmedzená
Teplotný rozsah	-50°C až +200°C
Presnosť (precision)	typicky 1% RSD pre 0°C – 50°C
Presnosť (accuracy)	typicky 5% RSD pre 0°C – 50°C
Rozpätie tepelnej absorpcie	$0 - 19,000 \text{ W} \cdot \text{s}^{1/2} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Doba chladenia	60 sekúnd
Relatívna vlhkosť	až do 95%
Externý pozitívny tlak	až do 101 325 Pa

Tab. č. 3 Špecifikácie TCi senzoru [24]

Celé zariadenie pre fungovanie C-Therm TCI sa skladá z uvedených častí :

- C-Therm TCI regulátor
- C-Therm TCI senzor
- C-Therm TCI návod na obsluhu
- Kontaktné činitele
- Referenčné materiály
- C-Therm senzor základne
- Napájací kábel USB [24]

11. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Hlavným cieľom experimentálnej časti diplomovej práce je zistiť tepelnoizolačné vlastnosti materiálov používaných na druhú vrstvu oblečenia pri jeho vrstvení. Testované materiály (tab. č. 6) boli získané od spoločností vyrábajúcich športové oblečenie, a to Alpine Pro a.s a Klimatex.

Prvým krokom experimentu je testovanie novinky na KOD – komory Thermal Product Solutions, ktorá je súčasťou nového zariadenia na meranie tepelnoizolačných vlastností, a to C – Therm Tci – analyzátoru tepelnej vodivosti. V komore sa testovala najvyššia a najnižšia možná nastavená teplota a taktiež vlhkosť pomocou dvoch druhov termočlánkov. Meranie sa prevádzalo za pomoci meracieho prístroja ALMEMO 2290 – 4. Výsledkom bolo porovnanie vzniknutého rozdielu teplôt.

Pri samotnom meraní tepelnoizolačných vlastností predložených materiálov bol na ich meranie použitý prístroj TCi – analyzátor tepelnej vodivosti a komora Thermal Product Solutions. Zariadenia boli vzájomne prepojené.

Do komory Thermal Product Solutions bolo umiestnené čidlo prístroja TCi, na ktoré sa umiestňovali materiály a pod tlakom závažia nastalo samotné meranie. Výsledkom meraní a výpočtov boli získané tepelnoizolačné vlastnosti jednotlivých materiálov, ich porovnanie a zhodnotenie pre použitie na výrobu odevov určených na letné a zimné ročné obdobia.

11.1 Testovanie komory Thermal Product Solutions

Testovacia komora (obr. č. 17) je novým inovačným výrobkom rozširujúcim reguláciu teploty so súpravou rôznych voliteľných klimatizačných zariadení. Teplotný rozsah: - 75 až + 200° C, $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$. Ohrievanie komory je dosiahnuté vďaka nízkej hmotnosti, chromoniklovému drôtu ohrievania v klimatizačnej zberni. Zberňa je umiestnená v komore stropu a je izolovaná od pracovného priestoru, aby sa zabránilo vyžarovaniu tepla. Chladenie komory je dosiahnuté obehom vzduchu v komore pomocou chladiča v klimatizačnej zberni. Cirkulácia vzduchu je vytvorená typom vrtule ventilátoru.

Vybavenie a ovládacie prvky :

- Watlow F4 regulátor teploty je profilovaný typ regulátoru, ktorý je určený pre náročnú aplikáciu. Môže byť naprogramovaný až 256 krokov, štvorriadkový HD LCD display zvyšuje možnosť riadiť software, aby bol profil programovania a konfigurácie radiča rýchlejší a jednoduchší. RTD snímače sa používajú na meranie teploty.
- Ochrana komory proti prehriatiu je vybavená tepelným zariadením. Funkcia Watlow 93 môže byť použitá pre produkt na tepelnú ochranu. Tieto zariadenia sú konfigurované na komplexný alarm a vypnutie obvodu.
- Chladiaci systém komory je vybavený chladiacim kaskádovým systémom, ktorý používa dva kompresory v hermetickom usporiadaní. V tomto vysoko efektívnom dizajne dochádza k odstráneniu kondenzačného tepla a k nízkej fáze cievky kaskády kondenzátoru. To umožňuje krajne nízke teploty, ktoré získajú nízke etapy výparníku. Tento systém používa kapilárne trubice, pri ktorých sa vzduch ochladí.
- Komory môžu byť navrhnuté s iskrovo bezpečným interiérom, ktorý zamestnáva špeciálnu stabilizáciu a prevádzkové zariadenie, odstraňuje prípadné tvorby deflagrácie alebo výbuchu [25].



Obr. č. 17 Komora Thermal Product Solutions [25]

Komora Thermal Product Solutions (obr. č. 17) je novinkou na katedre odevníctva fakulty textilnej na TUL, je súčasťou výbavy pre meranie tepelnej vodivosti, absorpcie, prípadne ďalších vlastností a úlohou experimentu bolo pomocou dvoch druhov termočlánkov s rôznym teplotným rozpätím otestovať najvyššie povolené teploty a vlhkosť v komore.



Obr. č. 18 Ovládací panel komory Thermal Product Solutions

11.1.1 Termočlánok č. 1

Typ termočlánku : FHA 646 – E1 NORM R1E4

Teplotné rozpätie : -20°C až +60°C



Obr. č. 19 Termočlánok č. 1

Termočlánok (obr. č. 19) bol zavedený do komory, testovanie sa zahájilo tým, že sa na elektronickom paneli (obr. č. 18) nastavila najnižšia povolená teplota, a to -15°C. Z dôvodu možného poškodenia termočlánku bola táto teplota nastavená ako najnižšiu možná, obdobne, najvyššou bola 45°C. Druhý koniec termočlánku bol pripojený na merací prístroj ALMEMO 2290 - 4 (obr. č. 20), ktorý bol pripojený k PC a namerané dáta bolo možné spracovať pomocou programu Microsoft Excel. Priemerná doba merania pri zmene teploty bola 25 minút a teplota sa prestavila vždy, keď sa počítadlo na ALMEMO 2290 – 4 (obr. č. 20) zastavilo, hodnota sa ustálila a z toho vyplývalo, že je to maximum pre danú nastavenú teplotu.

ALMEMO 2290 – 4 (obr. č. 20) je prenosný batériový prístroj pozostávajúci z univerzálnej centrálnej meracej jednotky s digitálnou indikáciou a možnosťou pripojenia 4 meracích sond. Medzi sondami a meracou jednotkou sa nachádzajú špeciálne prispôsobovacie konektory (interface).

Sondy merajú :

- Rýchlosť prúdenia na vrtuľkovom princípe do 20 m/s
- Teplotu a relatívnu vlhkosť vzduchu na kondenzátorovom princípe
- Teplotu do 600°C pomocou tenkého dlhého termočlánku NiCr – Ni
- Otáčky na fotoelektrickom princípe
- Intenzitu celkového UV žiarenia (približne, bez rozlíšenia pásiem)
- Teplotu do 200°C bezdotykovo pomocou málo presného jednoduchého prístroja

Výhodou prístroja je ľahkosť inštalácie a pohotovosť.



Obr. č. 20 Merací prístroj ALMEMO 2290 - 4

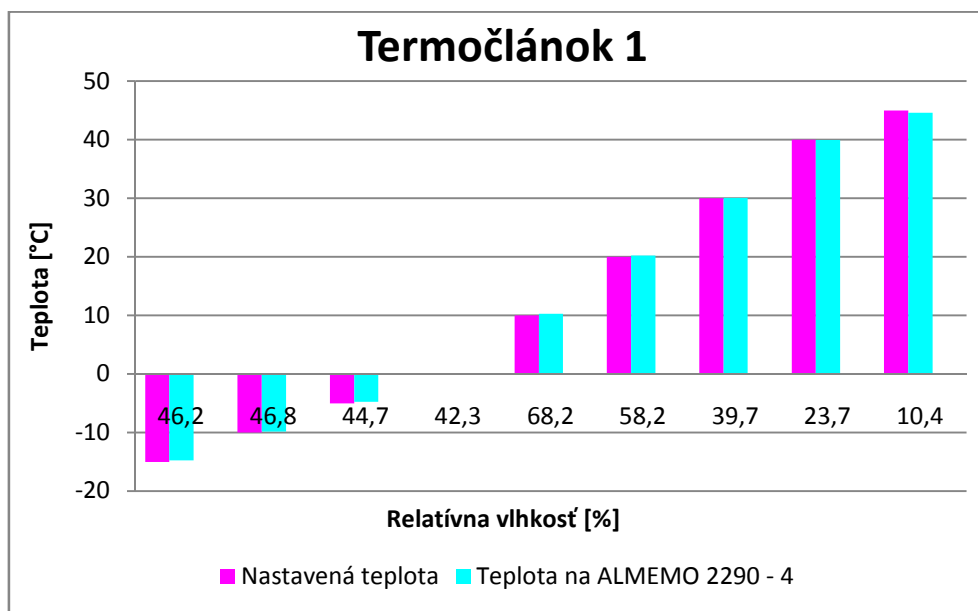
Hodnoty vyhodnotenia jednotlivých teplôt, odchýlok a vlhkosti v komore sú zobrazené v tabuľke č. 4 :

Nastavená teplota [°C]	Teplota na ALMEMO 2290 – 4 [°C]	Odchýlka teplôt [°C]	Čas merania [min]	Relatívna vlhkosť [%]
-15°C	-14,75	0,25	19	46,2
-10°C	-9,85	0,15	18	46,8
-5°C	-4,78	0,22	23	44,7
0°C	0,02	0,02	12	42,3
10°C	10,25	0,25	28	68,2
20°C	20,22	0,22	31	58,2
30°C	30,04	0,04	25	39,7
40°C	39,93	0,07	31	23,7
45°C	44,61	0,39	37	10,4

Tab. č. 4 Vyhodnotenie testovania teploty v komore

Tabuľka č. 4 zobrazuje teplotu nastavenú na panely komory Thermal Product Solutions (obr. č. 18) a hodnotu teploty, ktorú ukazoval prístroj ALMEMO 2290 – 4 (obr. č. 20) po tom, čo sa zastavila a približovala tej nastavenej. Z vyhodnotených dát v tabuľke je jasne vidieť, že odchýlka medzi nastavenou teplotou a teplotou na

ALMEMO 2290 - 4 je nestála, akurát čas merania sa so zvyšujúcou teplotou predlžuje. Relatívna vlhkosť v komore sa so zvyšujúcou teplotou taktiež zvyšovala.



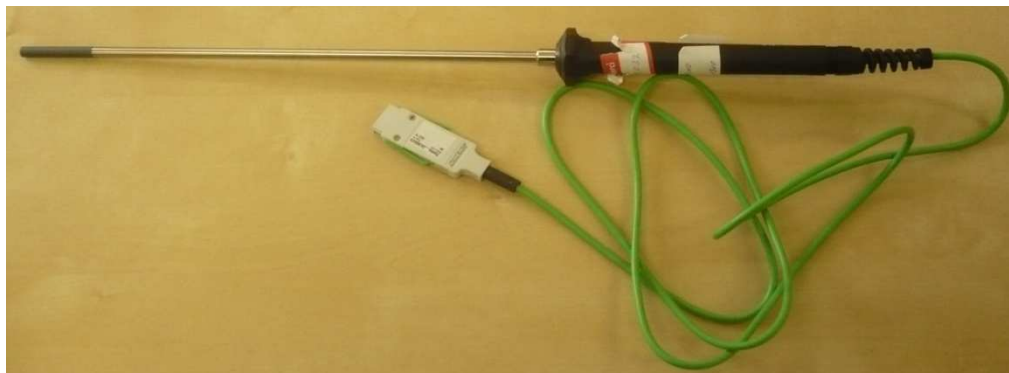
Graf č. 1 Testovanie teploty a vlhkosti v komore

Graf č. 1 zobrazuje obe nastavené teploty, pri ktorých vidieť, že odchýlka teplôt je malá, teplota na ALMEMO 2290 – 4 sa približuje tej nastavenej na panely komory Thermal Product Solutions. Z grafu je vidieť veľké rozdiely relatívnej vlhkosti medzi najnižšou a najvyššou teplotou, kedy je so stúpajúcou teplotou vlhkosť výrazne menšia.

11.1.2 Termočlánok č. 2

Typ termočlánku : ZA 9020 - FS

Teplotné rozpätie : -50°C až +200°C



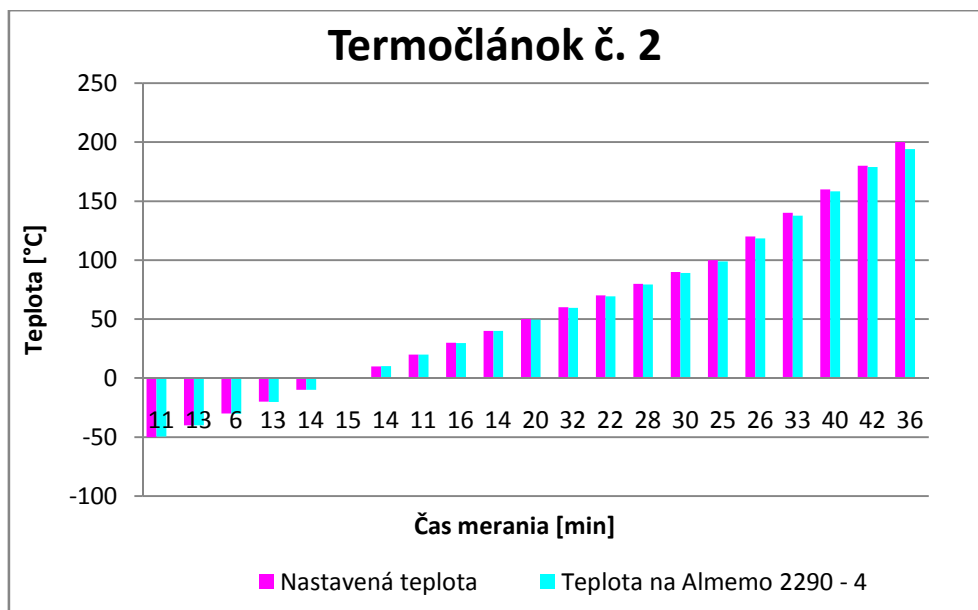
Obr. č. 21 Termačlánok č. 2

Termačlánok (obr. č. 21) bol podobne ako predchádzajúci zavedený do komory, na elektronickom paneli (obr. č. 18) sa nastavila najnižšia povolená teplota a to - 50°C. V tomto prípade bol termočlánok vyrobený z kvalitnejšieho materiálu, má iné parametre pre nastavenie teploty, tak nehrozilo jeho poškodenie.

Druhý koniec termočlánku bol napojený na merací prístroj ALMEMO 2290 -4 (obr. č. 20), ktorý bol pripojený k PC a namerané dáta bolo možné spracovať pomocou programu Microsoft Excel. Priemerná doba merania pri zmene teploty bola 22 minút a teplota sa prestavila vždy, keď sa počítač na ALMEMO (obr. č. 20) zastavilo, hodnota sa opakovala a z toho vyplývalo, že je to maximum pre danú nastavenú teplotu. Hodnoty jednotlivých teplôt sú zobrazené v tabuľke č. 5 :

Nastavená teplota [°C]	Teplota na ALMEMO 2290 - 4 [°C]	Odchýlka teplôt [°C]	Čas merania [min]
-50	-49,6	0,4	11
-40	-40	0	13
-30	-30,2	0,2	6
-20	-20,1	0,1	13
-10	-10	0	14
0	0,2	0,2	15
10	10,1	0,1	14
20	19,9	0,1	11
30	29,7	0,3	16
40	39,9	0,1	14
50	49,6	0,4	20
60	59,5	0,5	32
70	69,3	0,7	22
80	79,3	0,7	28
90	89,1	0,9	30
100	98,8	0,2	25
120	118,5	1,5	26
140	137,8	2,2	33
160	158,4	2,6	40
180	179	1,0	42
200	194,2	5,8	36

Tab. č. 5 Vyhodnotenie testovania teploty v komore



Graf č. 2 Testovanie teploty a vlhkosti v komore

Vyhodnotením dát pomocou grafu č. 2 možno zhodnotiť, že u termočlánku č. 2 sa odchýlka teplôt zväčšovala s rastúcou teplotou, čím vyššia teplota bola, tým menej sa približovala nastavenej na digitálnom paneli komory. Pri tomto termočlánku nebolo možné zmerať vlhkosť v komore, pretože boli merané príliš vysoké teploty, kde už vlhkosť nebolo možné zistiť.

11.2 Charakteristika použitých materiálov

Tabuľka č. 6 charakterizuje jednotlivé materiály získané od spoločnosti Alpine Pro a.s a Klimatex, ktoré sa v týchto spoločnostiach používajú na výrobu oblečenia pre druhú vrstvu pri vrstvení odevov. Materiály sú v ďalšej časti práce použité pre meranie tepelnoizolačných vlastností odevov.

Referenčné označenie materiálu	Názov materiálu	Zloženie materiálu [%]	Výrobca materiálu	Druh materiálu	Plošná hmotnosť [g/m ²]
1	HTT 04-61	100% PES	HTT	pletenina	345
2	HTT 00202-10493	100% PES	HTT	pletenina	285
3	100% PES FURRY KNITTING	100% PES	DYNA	pletenina	280
4	100% PES, CORAL FLEECE	100% PES	HANZOU PANTEX GRAMENT FACTORY	pletenina	330
5	2009102308	65% PES, 35% BAVLNA	INVEL	pletenina	360
6	100% PES FLEECE	100% PES	HTT	pletenina	180
7	LOCAL IK- 9001	94% PES, 6% SPANDEX	TAICANG	pletenina	260
8	POLARTEC POWER STRETCH	53% PES 38% NYLON 9% SPANDEX	POLARTEC	pletenina	241
9	ALERGO	53% BAVLNA, 47% PP	LAVSON	pletenina	195

Tab. č. 6 Štruktúrne vlastnosti materiálov

11.3 Meranie hrúbky materiálu

Prístroj SDL M 034 A (obr. č. 22) je určený na meranie hrúbky textílií, ktorá je stanovená ako meranie kolmej vzdialenosti medzi základnou doskou, na ktorú je vzorka umiestnená a paralelným prítlačným kotúčom, ktorý vyvíja špecifikovaný prítlak na skúšobnú plochu textílie.

Prístroj je vybavený prítlačnou hlavicou 20 a 100 cm² a je možné aplikovať silu 0,1 – 200 N. Priebeh meraní a spracovávanie výsledkov je riadené pomocou počítačového softwaru, prístroj je vybavený tlačiarňou.



Obr. č. 22 Prístroj SDL M 034 A

- Norma : ČSN EN ISO 5084 (80 0844)
- Prítlak pri meraní : 100 Pa
- Zátťaž pri meraní : 100 g
- Rozmery vzoriek : 28 x 28 cm

Každý z materiálov bol v prístroji zmeraný 10 - krát pod uvádzanou silou. Výsledky merania sú spracované v tabuľke č. 7 a zobrazené v grafe č. 3. V závere možno poznamenať dôležitý údaj a to, že čím väčšia je hrúbka materiálu, tým viac uzatvoreného vzduchu sa v materiály nachádza a sú tým lepšie tepelnoizolačné vlastnosti.

Referenčné označenie materiálu	Aritmetický priemer hrúbky [mm]	Rozptyl	Smerodajná odchýlka	Variačný koeficient [%]	95% IS [mm]
1	6,67	0,006	0,08	1,20	<6,72;6,62>
2	3,19	0,002	0,04	1,25	<3,21;3,17>
3	4,06	0,008	0,09	2,22	<4,12;4,00>
4	7,42	0,078	0,28	3,78	<7,59;7,25>
5	2,90	0,010	0,10	3,45	<2,96;2,83>
6	2,89	0,0009	0,03	1,04	<2,90;2,87>
7	1,82	0,0025	0,05	2,75	<1,85;1,79>
8	4,27	0,032	0,18	4,22	<4,38;4,16>
9	1,88	0,0004	0,02	1,06	<1,89;1,87>

Tab. č. 7 Výsledky štatistických výpočtov jednotlivých materiálov

Tabuľka č. 7 zobrazuje aritmetický priemer hrúbky jednotlivých materiálov a dopočítané základné štatistické hodnoty.



Graf č. 3 Priemerná hrúbka materiálu

Z uvedených meraní zaznamenaných v grafe č. 3 vyplýva, že materiálom s najväčšou priemernou hrúbkou je materiál č. 4 a s hrúbkou najmenšou materiál č. 7.

11.4 Zisťovanie tepelnoizolačných vlastností materiálov



Obr. č. 23 C.Therm - TCI s počítačom pre zobrazenie nameraných hodnôt

V experimentálnej časti predloženej diplomovej práce bol na testovanie tepelnoizolačných vlastností vybraných materiálov použitý prístroj C Therm - TCI – analyzátor tepelnej vodivosti (obr. č. 23) spoločne s komorou Thermal Product Solutions (obr. č. 18). Snímač analyzátoru bol umiestnený v komore, kde sa na jeho plochu umiestňovali jednotlivé vzorky materiálov, ktorých veľkosť bola ľubovoľná (obr. č. 24). V tomto prípade šlo o materiály so zvolenými rozmermi 28 x 28 cm. Meraná plocha bola zaťažená závažím s prítlakom 37,7 kPa, ktoré patrí snímaču C Therm - TCI. Vlastnosti materiálov boli testované pri piatich rôznych teplotách nastavovaných na elektronickom paneli komory. Materiály boli pred meraním klimatizované v komore pri nastavenej teplote po dobu dvoch hodín. Pri každej zmene teploty na paneli komory bolo nutné čakať, kým sa teplota snímača vo vnútri komory vyrovná nastavenej teplote. Po tom nastalo samotné meranie, pri každej vzorke materiálu prebehlo desať meraní, z ktorých bol vypočítaný aritmetický priemer. Výsledky boli zaznamenané v PC pomocou programu pre C Therm - TCI a ďalej prevádzané do programu Microsoft Excel pre jednoduchšie spracovanie jednotlivých hodnôt tepelnoizolačných vlastností.

Klimatické podmienky v laboratóriu :

Teplota : 21,2 °C

Vlhkosť vzduchu : 65%



Obr. č. 24 Umiestnenie materiálu v komore Thermal Product Solutions

Obrázok č. 24 ukazuje presné umiestnenie materiálu v komore na snímač analyzátora a zaťaženie závažím. Druhá strana snímača je spojená priamo s analyzátorom tepelnej vodivosti do ktorého je zapojený PC zaznamenávajúci jednotlivé hodnoty tepelnoizolačných vlastností materiálu.

Niekoľko vlastností pri vyhodnotení je možné získať priamo z výsledkov testu využitím C - herm TCi software. Ostatné vlastnosti je možné získať pomocou výpočtov.

Merná teplotná vodivosť je určená z rovnice :

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot cp} \text{ [m}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (15)$$

Kde k je tepelná vodivosť, ρ je objemová hmotnosť a C_p je tepelná kapacita. Pre tento výpočet musí byť vypočítaná objemová hmotnosť, ktorú sme získali výpočtom zo vzorca pre **tepelnú kapacitu** :

$$cp = \frac{e^2}{k \cdot \rho} \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{]} \quad (16)$$

Kde e je tepelná absorpcia, k je tepelná vodivosť, a ρ je objemová hmotnosť. Objemová hmotnosť musí byť zadaná, taktiež tepelná absorpcia a tepelná vodivosť musia byť k dispozícii pre výpočet.

Súčiniteľ tepelného odporu je určený z rovnice :

$$R = \frac{d}{k} [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (17)$$

Kde k je tepelná vodivosť a d je hĺbka prieniku tepla. Táto vlastnosť je vhodná len pre izolačné materiály.

Hĺbka prieniku tepla je určená z rovnice :

$$d = \sqrt{4\alpha t} \quad (18)$$

Kde α je merná teplotná vodivosť a t je čas testu kalibrácie tepelnej vodivosti. Teplotná vodivosť, tepelná kapacita alebo hustota musia byť zadane pre tento výpočet.

11.5 Meranie tepelnoizolačných vlastností odevov

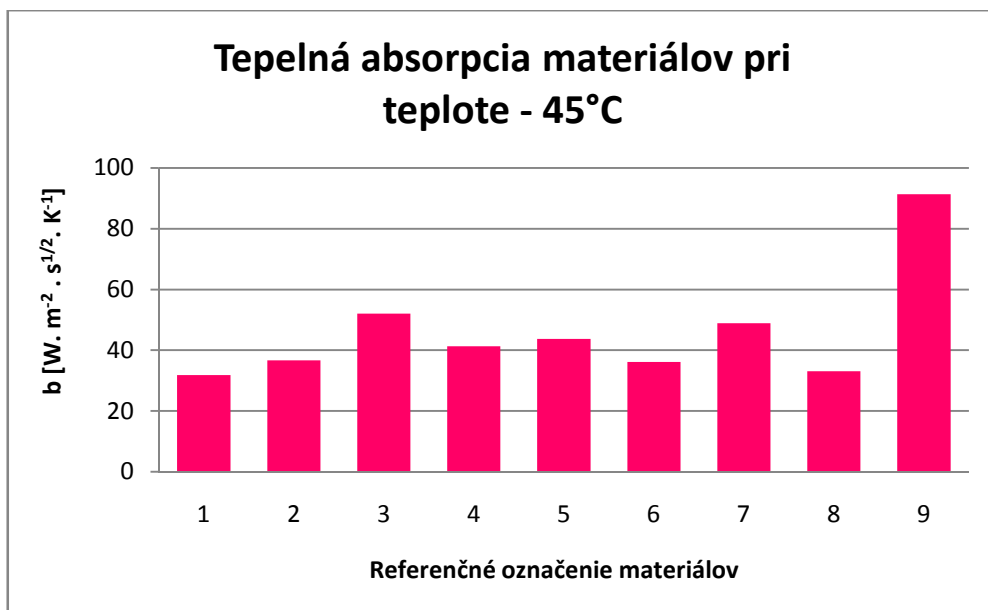
Niektoré tepelnoizolačné vlastnosti je možné získať priamo z výsledkov meraní, a to v tomto prípade bola tepelná absorpcia a tepelná vodivosť, ostatné boli dopočítané pomocou vzorcov a spracované do tabuliek a grafov :

11.5.1 Meranie pri teplote - 45°C

Tabuľka č. 8 zobrazuje priemerné hodnoty desiatich meraní jednotlivých tepelnoizolačných vlastností pri nastavenej teplote – 45°C :

Označenie materiálu	Tepelná absorpcia b	Tepelná vodivosť λ	Merná teplotná vodivosť α	Tepelná kapacita c_p	Tepelný odpor R
1	31,79	0,032	$10,5 \cdot 10^{-5}$	31,10	0,050
2	36,72	0,034	$8,57 \cdot 10^{-6}$	39,87	0,043
3	52,09	0,039	$5,56 \cdot 10^{-6}$	70,09	0,030
4	41,27	0,035	$7,38 \cdot 10^{-6}$	48,18	0,038
5	43,70	0,036	$6,78 \cdot 10^{-6}$	52,89	0,035
6	36,18	0,034	$8,83 \cdot 10^{-6}$	38,75	0,043
7	48,87	0,038	$6,04 \cdot 10^{-6}$	63,34	0,032
8	33,13	0,033	$9,92 \cdot 10^{-6}$	33,42	0,047
9	91,33	0,051	$2,19 \cdot 10^{-6}$	163,77	0,014

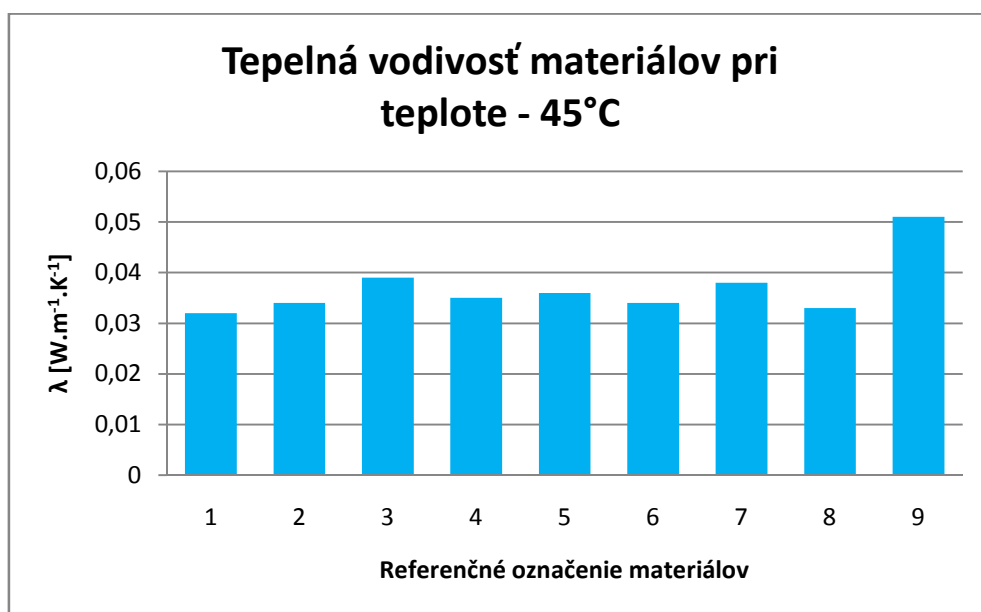
Tab. č. 8 Výsledné hodnoty tepelnoizolačných vlastností pri - 45°C



Graf č. 4 Porovnanie hodnôt tepelnej absorpcie materiálov pri -45°C

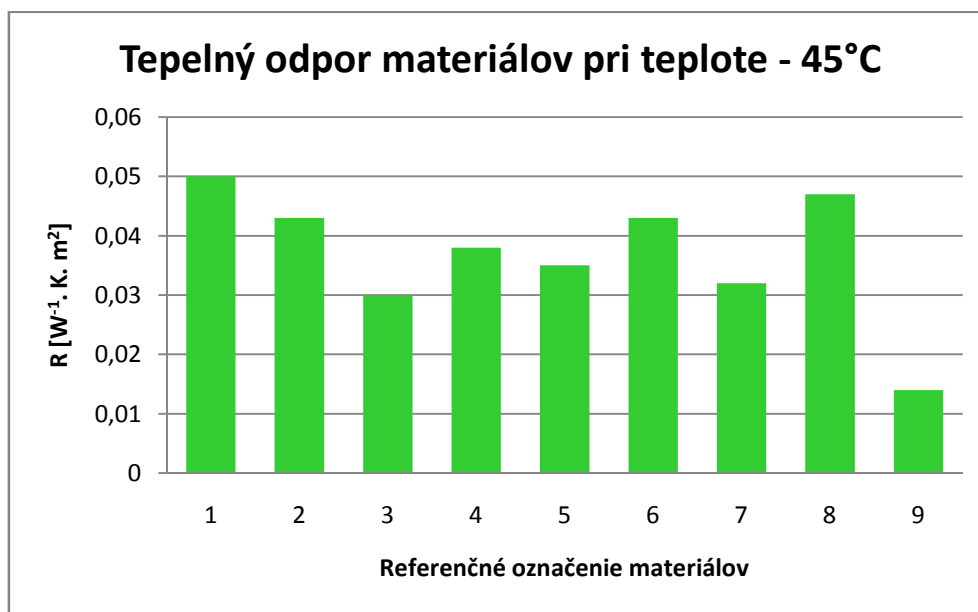
Graf č.4 znázorňuje porovnanie tepelnej absorpcie všetkých deviatich materiálov pri nastavenej teplote - 45°C. Tepelnú absorpciu tiež možno charakterizovať ako ohmat textílií. Čím je hodnota tepelnej absorpcie menšia, tým je ohmat materiálu teplejší.

Zhodnotením získaných výsledkov je z grafu viditeľné, že pri teplote -45°C má materiál č. 1 najnižšiu hodnotu tepelnej absorpcie, čo značí najteplejší ohmat. Priemerné hodnoty ostatných materiálov sú približné materiálu č. 1 a tým vykazujú taktiež relatívne príjemný a teplý ohmat. U materiálu č. 9 pri teplote -45°C je jasne vidieť, že ide o materiál s najhoršou tepelnou absorpciou a tým pádom aj najchladnejším ohmatom.



Graf č. 5 Porovnanie hodnôt tepelnej vodivosti materiálov pri - 45°C

Graf č. 5 znázorňuje porovnanie tepelnej vodivosti všetkých deviatich materiálov pri teplote - 45°C. Materiál s najvyššou hodnotou tepelnej vodivosti je najvodivejším materiálom. Zhodnotením všetkých výsledkov je z grafu viditeľné, že pri teplote - 45°C má materiál č. 1 najmenšiu tepelnú vodivosť, čo znamená, že ide o málo vodivý materiál, ktorý má vysokú odolnosť voči prúdeniu vetra. Materiál odvedie menej tepla z tela človeka a teplo sa udrží. Hodnoty vodivosti ostatných materiálov sa približujú prvému materiálu. U materiálu č. 9 nameraný priemer dát vykazuje najvyššiu hodnotu tepelnej vodivosti, čo znamená, že ide o najlepšie vodivý materiál.



Graf č. 6 Porovnanie hodnôt tepelného odporu materiálov pri -45°C

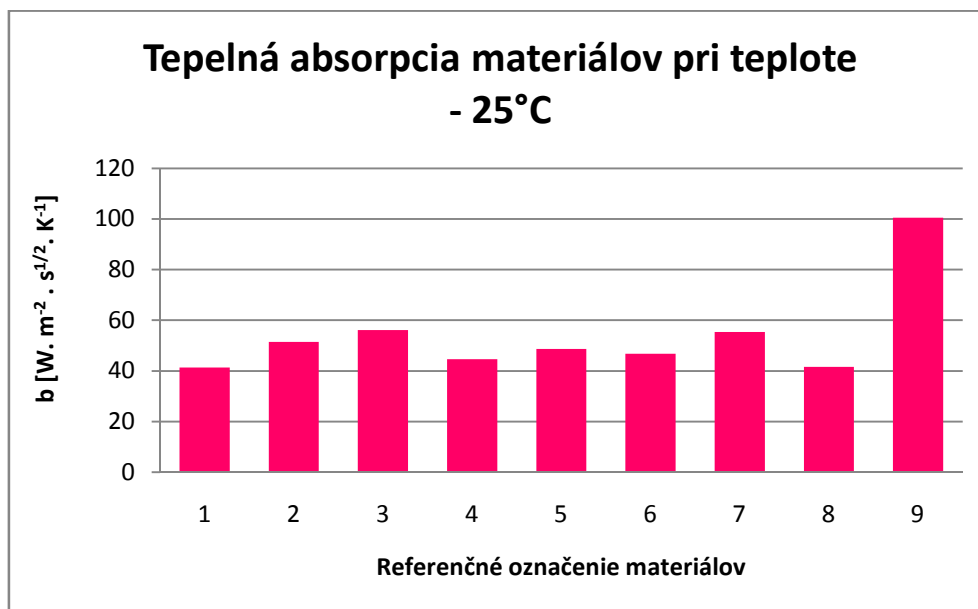
Graf č. 6 znázorňuje porovnanie tepelného odporu všetkých deviatich materiálov pri teplote - 45°C. Materiál s najvyššími vypočítanými hodnotami tepelného odporu je materiálom s najlepším tepelným odporom a najlepšou tepelnou izoláciou. Zhodnotením všetkých výsledkov je z grafu viditeľné, že pri teplote -45°C má materiál č. 1 najvyššiu hodnotu tepelného odporu, čo znamená, že je to materiál s najlepšou tepelnou izoláciou. Hodnoty ostatných materiálov sa relatívne približujú materiálu č. 1. Najnižšiu hodnotu tepelného odporu má materiál č. 9, čo dokazuje, že ide o materiál s najhorším tepelným odporom a tým pádom aj najhoršou tepelnou izoláciou.

11.5.2 Meranie pri teplote - 25°C

Tabuľka č. 9 zobrazuje priemerné hodnoty desiatich meraní jednotlivých tepelnoizolačných vlastností pri nastavenej teplote – 25°C :

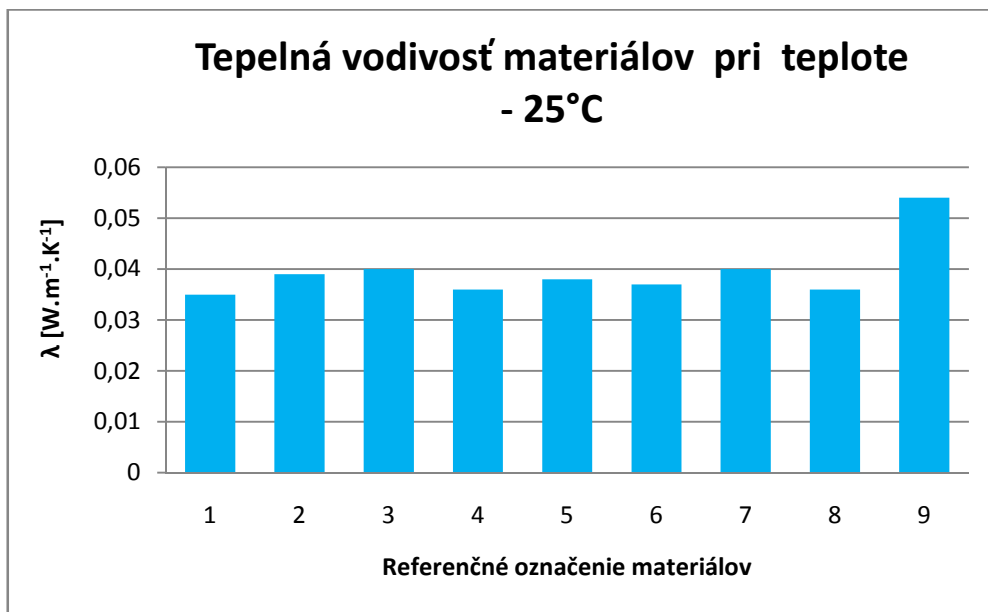
Označenie materiálu	Tepelná absorpcia b	Tepelná vodivosť λ	Merná teplotná vodivosť α	Tepelná kapacita cp	Tepelný odpor R
1	41,36	0,035	$6,54 \cdot 10^{-6}$	48,39	0,036
2	51,47	0,039	$5,74 \cdot 10^{-6}$	68,79	0,030
3	56,19	0,040	$5,06 \cdot 10^{-6}$	78,96	0,028
4	44,66	0,036	$6,67 \cdot 10^{-6}$	54,78	0,035
5	48,73	0,038	$6,1 \cdot 10^{-6}$	63,04	0,032
6	46,75	0,037	$6,26 \cdot 10^{-6}$	58,99	0,033
7	55,35	0,040	$5,22 \cdot 10^{-6}$	77,13	0,028
8	41,55	0,036	$7,50 \cdot 10^{-6}$	48,70	0,037
9	100,56	0,054	$2,88 \cdot 10^{-6}$	187,88	0,015

Tab. č. 9 Výsledné hodnoty tepelnoizolačných vlastností pri - 25°C



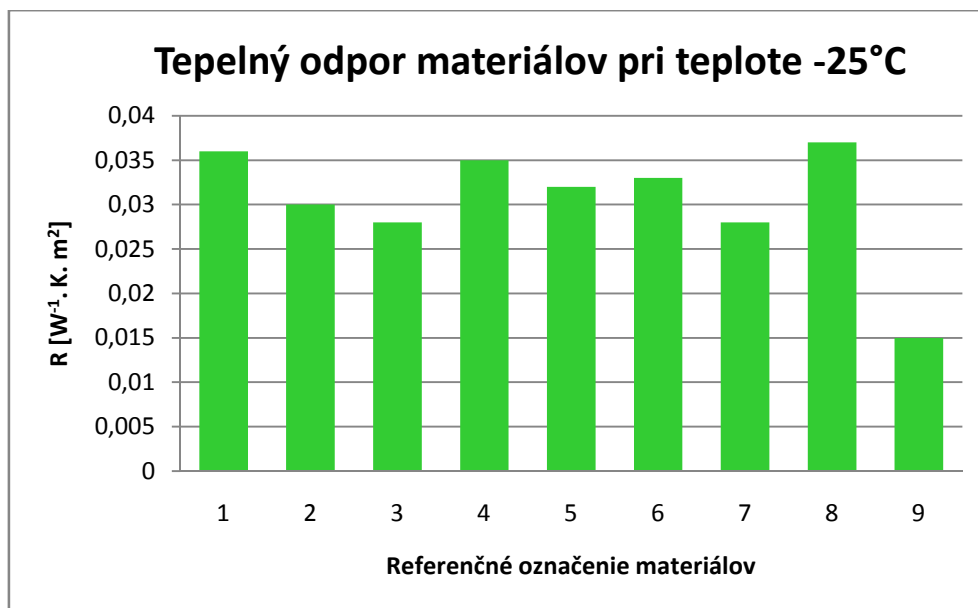
Graf č. 7 Porovnanie hodnôt tepelnej absorpcie materiálov pri - 25°C

Graf č. 7 znázorňuje porovnanie tepelnej absorpcie všetkých deviatich materiálov pri nastavenej teplote - 25°C. Pri hodnote - 25°C má materiál č. 1 najmenšiu hodnotu tepelnej absorpcie, čo znamená najteplejší ohmat. Priemerné hodnoty ostatných materiálov sa približujú materiálu č. 1 a tým vykazujú taktiež relatívne príjemný a teplý ohmat. Materiál č. 9 má najväčšiu hodnotu tepelnej absorpcie, čo znamená najchladnejší ohmat.



Graf č. 8 Porovnanie hodnôt tepelnej vodivosti materiálov pri -25°C

Graf č. 8 znázorňuje porovnanie tepelnej vodivosti všetkých deviatich materiálov pri teplote - 25°C. Pri tejto teplote má materiál č. 1 najnižšiu hodnotu tepelnej vodivosti, čo ale znamená vysokú odolnosť voči prúdeniu vetra. Materiál odvedie menej tepla z tela človeka a teplo sa udrží. Ostatné hodnoty vodivosti sa približujú prvému materiálu, čo v prípade porovnania predložených materiálov znamená taktiež nižšiu hodnotu tepelnej vodivosti. Materiál č. 9 má najvyššiu hodnotu tepelnej vodivosti, čo dokazuje najlepšiu tepelnú vodivosť.



Graf č. 9 Porovnanie hodnôt tepelného odporu materiálov pri -25°C

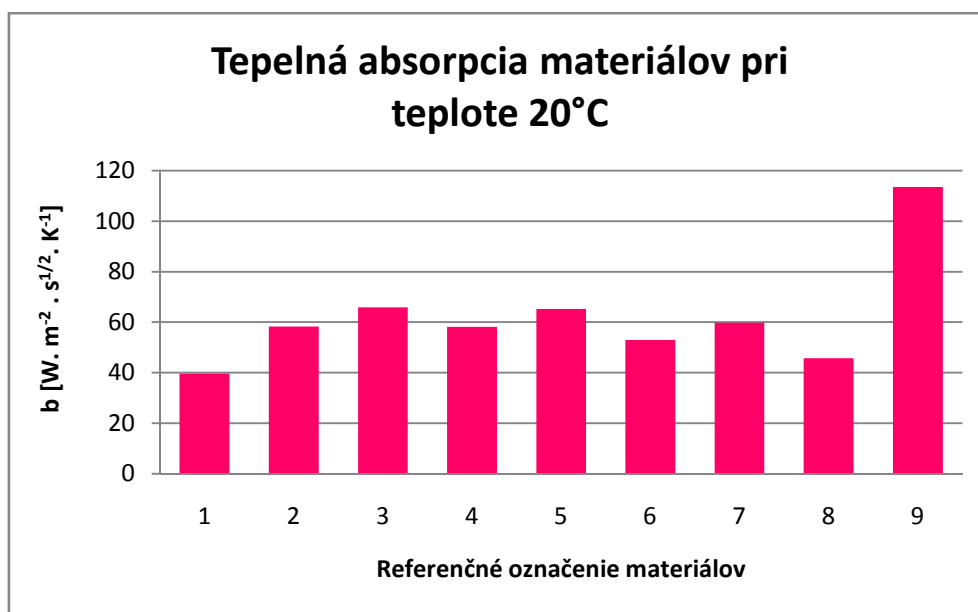
Graf č. 9 znázorňuje porovnanie tepelného odporu všetkých deviatich materiálov pri teplote -25°C. Pri tejto teplote je materiál č. 8 materiálom s najvyššou hodnotou tepelného odporu, čo znamená, že ide o materiál s najlepšou tepelnou izoláciou. Len o niečo nižšiu hodnotu má materiál č. 1 a ostatné materiály, čo znamená taktiež dobrú tepelnú izoláciu. Materiál č. 9 materiálom má najnižšiu hodnotou tepelného odporu, čo dokazuje, že ide o materiál s najhoršou tepelnou izoláciou.

11.5.3 Meranie pri teplote 20°C

Tabuľka č. 10 zobrazuje priemerné hodnoty desiatich meraní jednotlivých tepelnoizolačných vlastností pri nastavenej teplote 20°C :

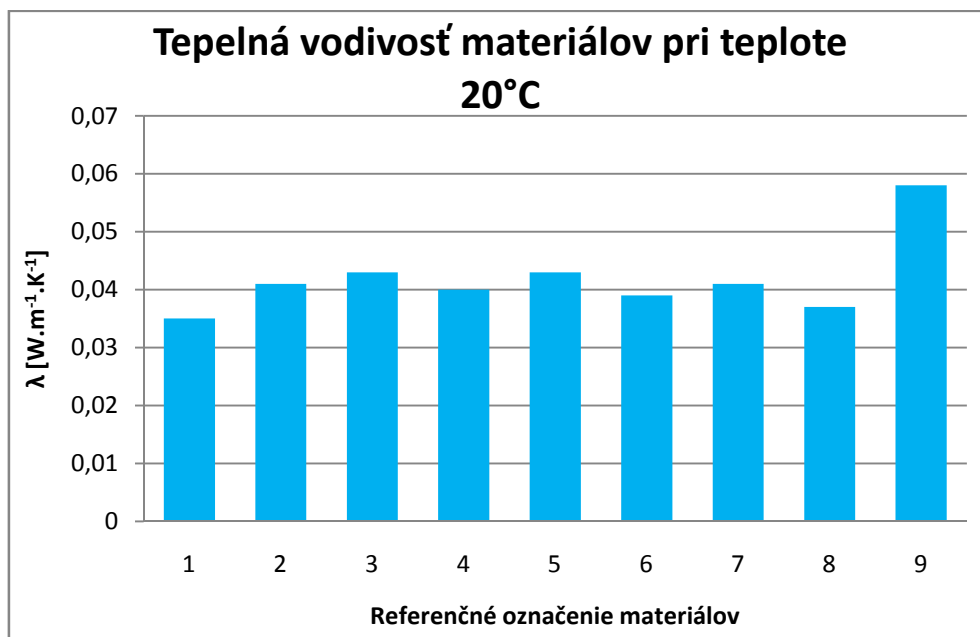
Označenie materiálu	Tepelná absorpcia b	Tepelná vodivosť λ	Merná teplotná vodivosť α	Tepelná kapacita c_p	Tepelný odpor R
1	39,63	0,035	$7,79 \cdot 10^{-6}$	45,06	0,039
2	58,28	0,041	$4,94 \cdot 10^{-6}$	83,98	0,027
3	65,87	0,043	$4,27 \cdot 10^{-6}$	100,99	0,024
4	58,14	0,040	$4,92 \cdot 10^{-6}$	83,37	0,027
5	65,20	0,043	$4,34 \cdot 10^{-6}$	99,38	0,024
6	52,94	0,039	$5,42 \cdot 10^{-6}$	71,90	0,029
7	59,80	0,041	$4,70 \cdot 10^{-6}$	87,02	0,026
8	45,69	0,037	$6,55 \cdot 10^{-6}$	56,85	0,034
9	113,59	0,058	$2,60 \cdot 10^{-6}$	222,80	0,014

Tab. č. 10 Výsledné hodnoty tepelnoizolačných vlastností pri 20°C



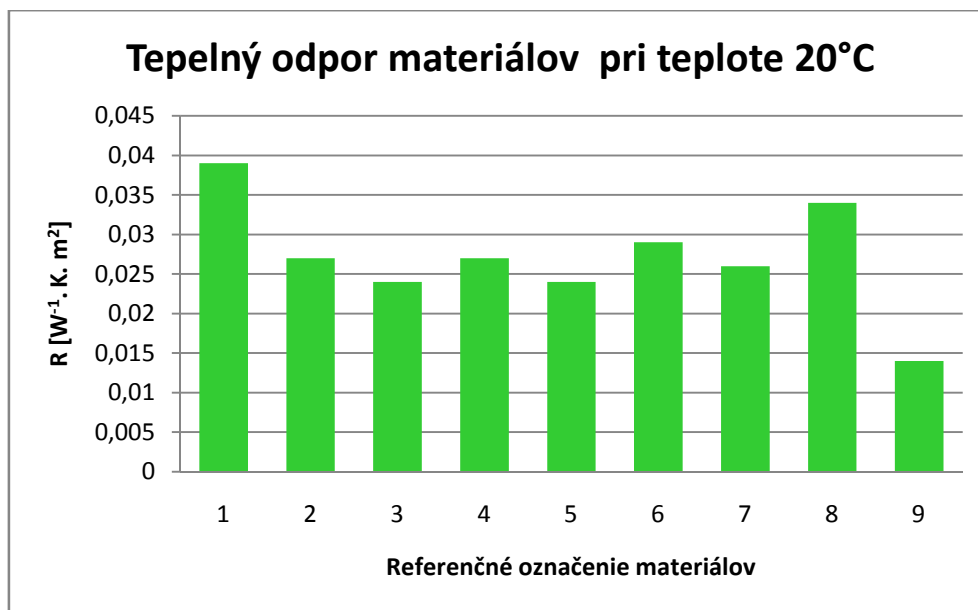
Graf č. 10 Porovnanie hodnôt tepelnej absorpcie materiálov pri 20°C

Graf č. 10 znázorňuje porovnanie tepelnej absorpcie všetkých deviatich materiálov pri nastavenej teplote 20°C. Pri tejto teplote má materiál č. 8 najmenšiu hodnotu tepelnej absorpcie, čo znamená najteplejší ohmat materiálu. Priemerné hodnoty ostatných materiálov sa približujú materiálu č. 1 a tým vykazujú taktiež relatívne príjemný a teplý ohmat. Materiál č. 9 má najväčšiu hodnotu tepelnej absorpcie, čo znamená najchladnejší ohmat.



Graf č. 11 Porovnanie hodnôt tepelnej vodivosti materiálov pri 20°C

Graf č. 11 znázorňuje porovnanie tepelnej vodivosti všetkých deviatich materiálov pri teplote 20°C. Pri tejto teplote má materiál č. 1 najnižšiu hodnotu tepelnej vodivosti, ale má vysokú odolnosť voči prúdeniu vetra. Materiál odvedie menej tepla z tela človeka a teplo sa udrží. Hodnoty ostatných materiálov sa približujú prvému materiálu, čo v prípade porovnania predložených materiálov znamená nižšiu tepelnú vodivosť. Materiál č. 9 má najvyššiu hodnotu tepelnej vodivosti, čo dokazuje najlepšiu tepelnú vodivosť.



Graf č. 12 Porovnanie hodnôt tepelného odporu materiálov pri 20°C

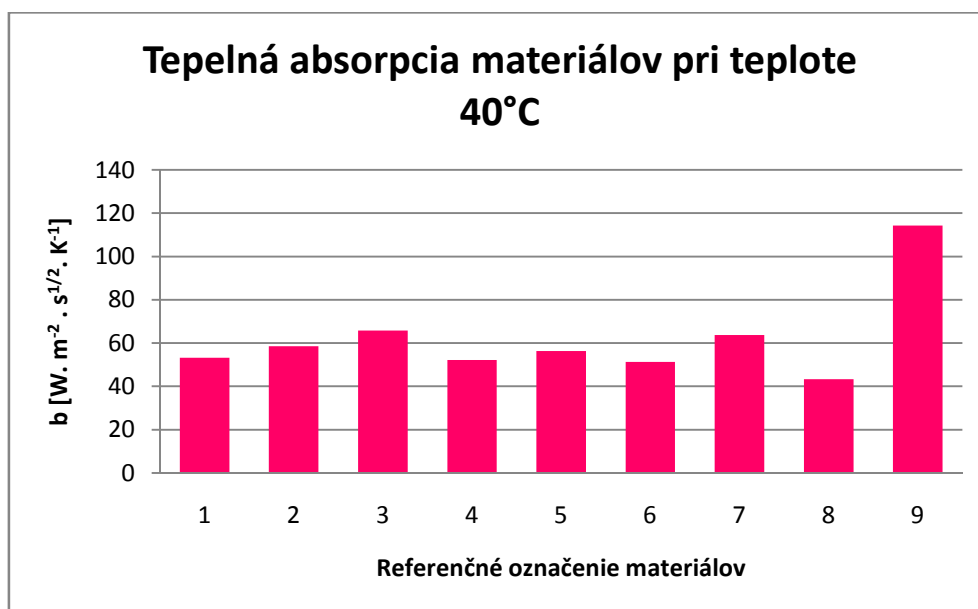
Graf č. 12 znázorňuje porovnanie tepelného odporu všetkých deviatich materiálov pri teplote 20°C. Pri tejto teplote je materiál č. 1 materiálom s najvyššou hodnotou tepelného odporu, čo značí najlepšiu tepelnú izoláciu. Materiál č. 9 je materiálom s najnižšou hodnotou tepelného odporu, čo znamená najhoršiu tepelnú izoláciu.

11.5.4 Meranie pri teplote 40°C

Tabuľka č. 11 zobrazuje priemerné hodnoty desiatich meraní jednotlivých tepelnoizolačných vlastností pri nastavenej teplote 40°C :

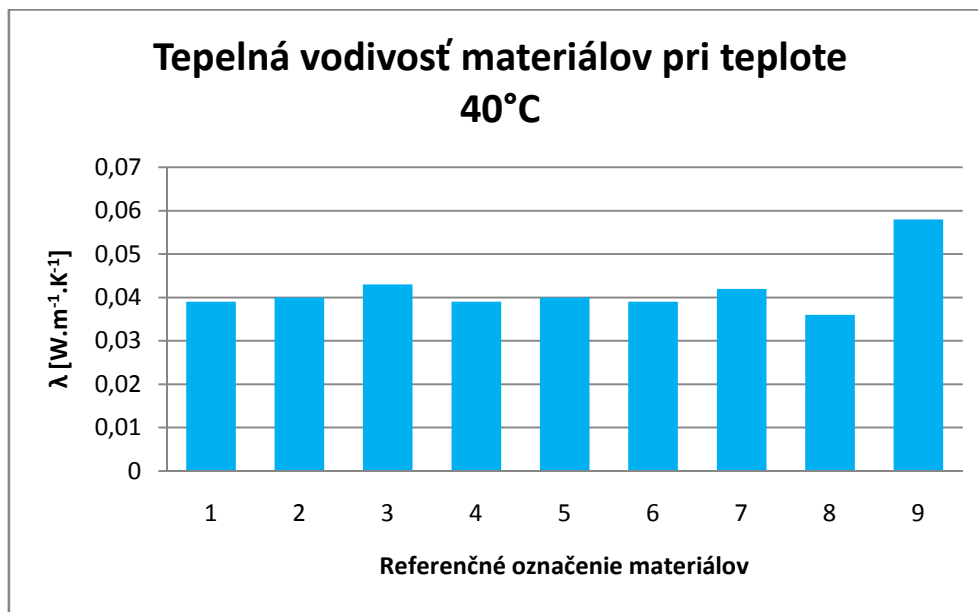
Označenie materiálu	Tepelná absorpcia b	Tepelná vodivosť λ	Merná teplotná vodivosť α	Tepelná kapacita c_p	Tepelný odpor R
1	53,24	0,039	$5,36 \cdot 10^{-6}$	48,97	0,029
2	58,50	0,040	$4,67 \cdot 10^{-6}$	84,11	0,026
3	65,77	0,043	$4,28 \cdot 10^{-6}$	100,70	0,024
4	52,16	0,039	$5,54 \cdot 10^{-6}$	70,25	0,029
5	56,36	0,040	$5,03 \cdot 10^{-6}$	79,33	0,027
6	51,29	0,039	$5,78 \cdot 10^{-6}$	68,40	0,030
7	63,75	0,042	$4,34 \cdot 10^{-6}$	96,02	0,024
8	43,37	0,036	$6,89 \cdot 10^{-6}$	52,23	0,036
9	114,29	0,058	$2,57 \cdot 10^{-6}$	224,69	0,014

Tab. č. 11 Výsledné hodnoty tepelnoizolačných vlastností pri 40°C



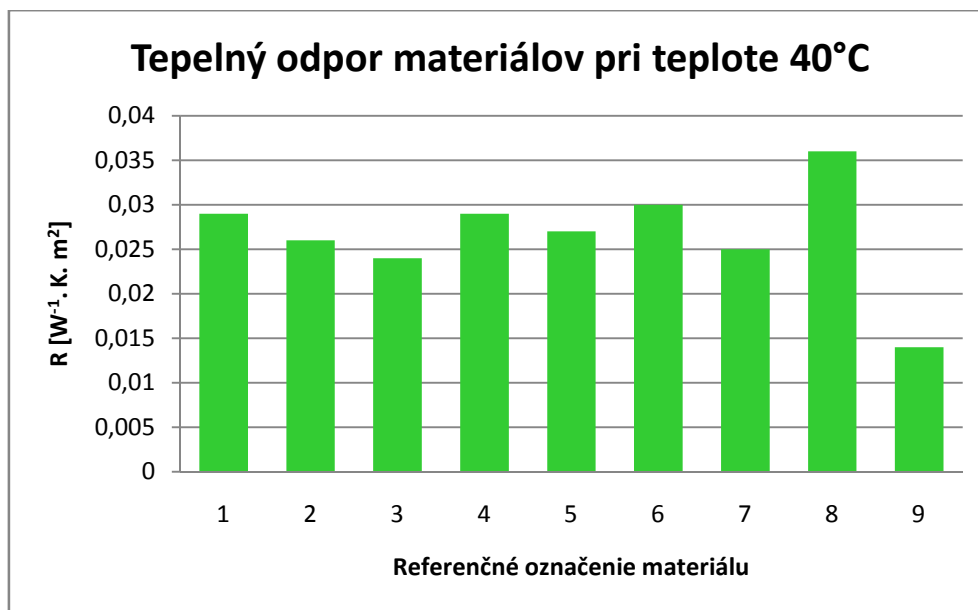
Graf č. 13 Porovnanie hodnôt tepelnej absorpcie materiálov pri 40°C

Graf č. 13 znázorňuje porovnanie tepelnej absorpcie všetkých deviatich materiálov pri nastavenej teplote 40°C. Pri tejto teplote má materiál č. 8 najmenšiu hodnotu tepelnej absorpcie, čo dokazuje najteplejší ohmat. Priemerné hodnoty ostatných materiálov sa približujú materiálu č. 8 a tým vykazujú taktiež relatívne príjemný a teplý ohmat. Materiál č. 9 má najväčšiu hodnotu tepelnej absorpcie, čo znamená najchladnejší ohmat.



Graf č. 14 Porovnanie hodnôt tepelnej vodivosti materiálov pri 40°C

Graf č. 14 znázorňuje porovnanie tepelnej vodivosti všetkých deviatich materiálov pri teplote 40°C. Pri tejto teplote má materiál č. 8 najnižšiu hodnotu tepelnej vodivosti, čo znamená vysokú odolnosť voči prúdeniu vetra. Materiál odvedie menej tepla z tela človeka a teplo sa udrží. Hodnoty ostatných materiálov sa približujú materiálu č. 8, čo v prípade porovnania predložených materiálov znamená nižšiu tepelnú vodivosť. Materiál č. 9 má najvyššiu hodnotu tepelnej vodivosti, čo značí najlepšiu tepelnú vodivosť.



Graf č. 15 Porovnanie hodnôt tepelného odporu materiálov pri 40°C

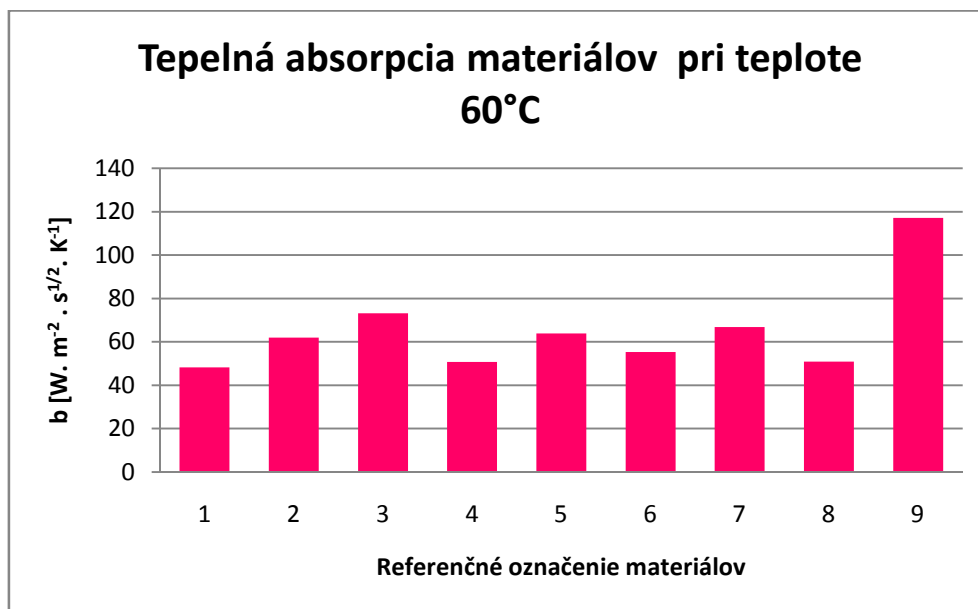
Graf č. 15 znázorňuje porovnanie tepelného odporu všetkých deviatich materiálov pri teplote 40°C. Pri tejto teplote je materiál č. 8 materiálom s najvyššou hodnotou tepelného odporu, čo znamená, že ide o materiál s najlepšou tepelnou izoláciou. Materiál č. 9 je materiálom s najnižšou hodnotou tepelného odporu, čo značí najhoršiu tepelnú izoláciu.

11.5.5 Meranie pri teplote 60°C

Tabuľka č. 12 zobrazuje priemerné hodnoty desiatich meraní jednotlivých tepelnoizolačných vlastností pri nastavenej teplote 60°C :

Označenie materiálu	Tepelná absorpcia b	Tepelná vodivosť λ	Merná teplotná vodivosť α	Tepelná kapacita c_p	Tepelný odpor R
1	48,19	0,038	$6,21 \cdot 10^{-6}$	61,43	0,032
2	61,97	0,042	$4,59 \cdot 10^{-6}$	91,93	0,025
3	73,19	0,045	$3,61 \cdot 10^{-6}$	118,33	0,021
4	50,70	0,038	$5,71 \cdot 10^{-6}$	67,33	0,031
5	63,90	0,042	$4,32 \cdot 10^{-6}$	96,37	0,024
6	55,36	0,040	$5,22 \cdot 10^{-6}$	78,71	0,028
7	66,86	0,043	$4,13 \cdot 10^{-6}$	103,25	0,023
8	50,83	0,038	$5,58 \cdot 10^{-6}$	67,43	0,030
9	117,15	0,059	$2,53 \cdot 10^{-6}$	232,47	0,013

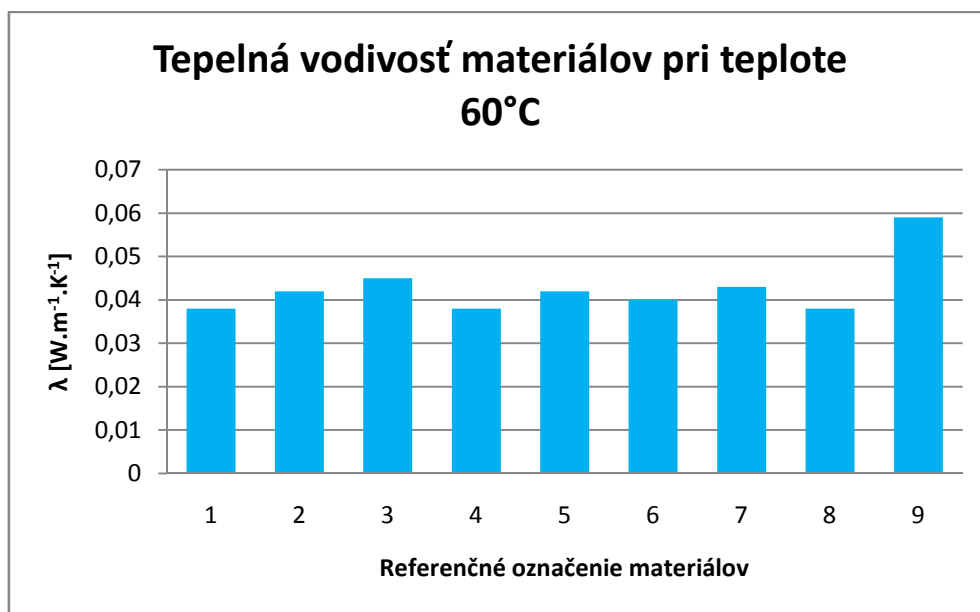
Tab. č. 12 Výsledné hodnoty tepelnoizolačných vlastností pri 60°C



Graf č. 16 Porovnanie hodnôt tepelnej absorpcie materiálov pri 60°C

Graf č. 16 znázorňuje porovnanie tepelnej absorpcie všetkých deviatich materiálov pri nastavenej teplote 60°C. Pri tejto teplote má materiál č. 1 najnižšiu

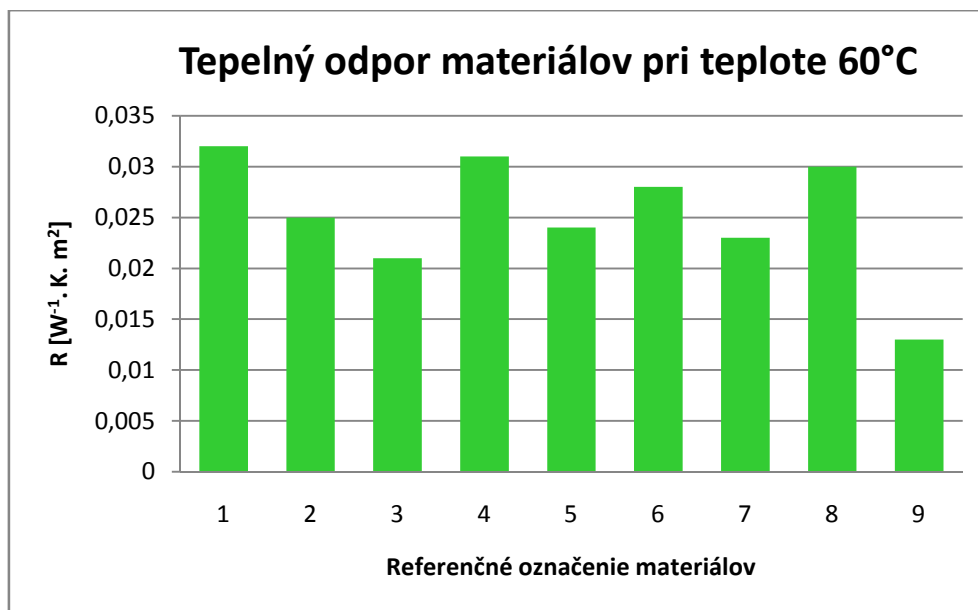
hodnotu tepelnej absorpcie, čo dokazuje najteplejší ohmat a materiál č. 9 najvyššiu hodnotu, čo znamená najchladnejší ohmat. Priemerné hodnoty ostatných materiálov sa približujú materiálu č. 1 a tým vykazujú taktiež relatívne príjemný a teplý ohmat. Z celkového priemerného vyhodnotenia nameraných dát všetkých teplôt vyplýva, že materiál č. 1 je materiálom s najmenšou hodnotou tepelnej absorpcie, čiže najteplejším ohmatom a materiál č. 9 je materiálom s najväčšou hodnotou tepelnej absorpcie a tým pádom najchladnejším ohmatom.



Graf č. 17 Porovnanie hodnôt tepelnej vodivosti materiálov pri 60°C

Graf č. 17 znázorňuje porovnanie tepelnej vodivosti všetkých deviatich materiálov pri teplote 60°C. Pri tejto teplote je najnižšia a zároveň aj rovnaká hodnota tepelnej vodivosti pri materiáloch č. 1, č. 4 a č. 8, čo znamená vysokú odolnosť voči prúdeniu vetra. Materiál odvedie menej tepla z tela človeka a teplo sa udrží. Materiál č. 9 má najvyššiu hodnotu tepelnej vodivosti, čo dokazuje najlepšiu tepelnú vodivosť.

Z celkového vyhodnotenia nameraných dát všetkých teplôt vyplýva, že materiál č. 1 je materiálom s najmenšou hodnotou tepelnej vodivosti, to znamená s najnižšou vodivosťou a materiál č. 9 je materiálom s najväčšou hodnotou tepelnej vodivosti, čiže najvodivejším materiálom.

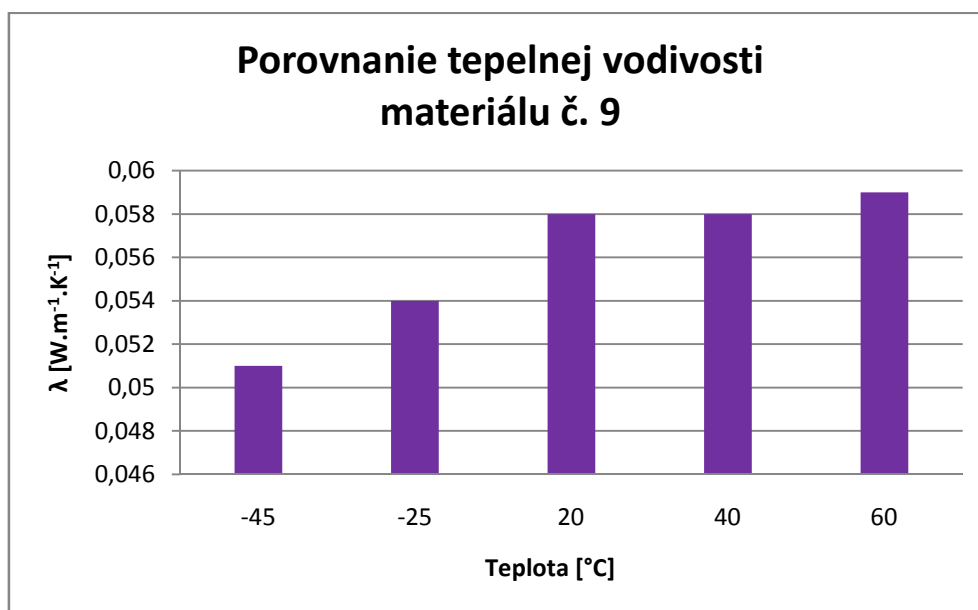


Graf č. 18 Porovnanie hodnôt tepelného odporu materiálov pri 60°C

Graf č. 18 znázorňuje porovnanie tepelného odporu všetkých deviatich materiálov pri 60°C. Pri tejto teplote je materiál č. 1 materiálom s najvyššou hodnotou tepelného odporu, čo dokazuje najlepšiu tepelnú izoláciu. Materiál č. 9 je materiálom s najnižšou hodnotou tepelného odporu, čo znamená najhoršiu tepelnú izoláciu.

Z celkového vyhodnotenia nameraných dát všetkých teplôt vyplýva, že materiál č. 1 je materiálom s najvyššou hodnotou tepelného odporu a najlepšou izoláciou, materiál č. 9 je materiálom s najnižšou hodnotou tepelného odporu, čiže najhoršou tepelnou izoláciou.

11.5.6 Porovnanie hodnôt tepelnej vodivosti vybraného materiálu



Graf č. 19 Porovnanie tepelnej vodivosti pri rôznych nastavených teplotách

Graf č. 19 znázorňuje porovnanie tepelnej vodivosti materiálu č. 9 pri všetkých nastavených teplotách. Z grafu je jasne viditeľné, že so zvyšujúcou sa hodnotou teploty, sa zvyšovala a tým pádom aj zlepšovala tepelná vodivosť. U materiálu č. 9 nižšia hodnota v mínusových teplotách znamená, že odvedie menej tepla z tela človeka a teplo sa udrží. Pre porovnávanie tepelnej vodivosti bol vybraný materiál č. 9, pretože vykazuje pri všetkých predošlých meraniach najvyššiu a tým pádom aj najlepšiu hodnotu tepelnej vodivosti hlavne v plusových teplotách, kde je potrebné, aby bolo teplo odvádzané z tela človeka rýchlejšie.

11.6 Zhodnotenie výsledkov

V celkovom vyhodnotení po zistení tepelnoizolačných vlastností jednotlivých predložených materiálov je dôležité zhodnotiť, že pri nastavení rôznych teplôt meraní tepelná absorpcia rástla, tepelná vodivosť taktiež rástla a tepelný odpor klesal, čím je viditeľne jasné, že v mínusových teplotách bola hodnota najvyššia, čo znamená najlepšiu hodnotu tepelnej izolácie.

Z nameraných tepelnoizolačných vlastností je v závere práce dôležité určiť, ktoré materiály sú vhodné na nosenie v letnom a ktoré v zimnom období.

Pre nosenie v letnom období podľa nameraných hodnôt sa najlepšie javia materiály č. 7 a č. 9. U týchto materiálov bola zistená najmenšia hrúbka, čo je v letnom období hodnotené kladne. Absorpcia materiálov po meraní ukazovala najvyššie hodnoty, čo znamená najchladnejší ohmat, ktorý je pre letné obdobie relatívne vhodným parametrom. Materiály vykazovali najvyššie a tým pádom aj najlepšie hodnoty tepelnej vodivosti. To je dôležité pre odevy nosené v letnom období. Teplo je z tela človeka odvádzané rýchlejšie. Posledným a dôležitým faktorom, ktorý rozhoduje o zaradení materiálov na použitie pre oblečenie v letnom období je tepelný odpor, ktorého najnižšie hodnoty u materiálov č. 7 a č. 9 znamenajú, že ide o materiály s najhoršou tepelnou izoláciou, ktorá nie je potrebná v letnom období.

Pre nosenie v zimnom období podľa nameraných hodnôt sa najlepšie javia ostatné materiály. Z nameraných tepelnoizolačných vlastností je možné stanoviť za najvhodnejšie materiály pre zimné obdobie materiály č. 1, č. 4 a č. 8. U týchto materiálov bola zistená najväčšia hrúbka, čo je v zimnom období hodnotené relatívne kladne. Tepelná absorpcia materiálov po meraní ukazovala najnižšie hodnoty, čo znamená najteplejší a najpríjemnejší ohmat, ktorý je pre zimné obdobie dôležitým parametrom. Materiály vykazovali najnižšie hodnoty tepelnej vodivosti, čo značí vysokú odolnosť voči prúdeniu vetra. Nízka tepelná vodivosť dokazuje, že materiál odvedie menej tepla z tela človeka, udrží ho a to je dôležitým faktorom pre chladné počasie. Tepelný odpor je v podstate opakom tepelnej vodivosti. Na rozdiel od nej však zohľadňuje hrúbku jednotlivých materiálov. Čím vyššia je tepelná vodivosť, tým je nižší odpor. Práve odpor je posledným a najdôležitejším faktorom, ktorý rozhoduje o použití materiálov pre oblečenie v zimnom období. Tepelný odpor, ktorého najvyššie hodnoty u materiálov č. 1, č. 4 a č. 8 znamenajú, že ide o materiály s najlepšou tepelnou izoláciou, ktorá je potrebná v zimnom období.

12. ZÁVER

Diplomová práca bola zameraná na meranie tepelnoizolačných vlastností odevov, kde prvou úlohou bolo vypracovať rešerš na danú tému. Najdôležitejším faktorom pri nosení odevu v akomkoľvek počasí a prostredí je komfort odevu. Výskumy nových materiálov sa snažia nájsť stále dokonalejšie riešenia, aby sa stalo pohodlie človeka pri nosení odevu samozrejmosťou. Dôležitú funkciu pri komforte nosenia pri určitých teplotách má vrstvenie odevov.

Ďalšou úlohou práce bolo zamerať sa na možnosti merania tepelnoizolačných vlastností odevov prostredníctvom prístrojov umiestnených v laboratóriách KOD. Jednotlivé prístroje boli popísané krátkou charakteristikou.

Experimentálna časť práce sa zaoberala materiálmi používanými pre druhú vrstvu pri vrstvení odevov. Pre určovanie správneho druhu materiálu pri nosení druhej vrstvy odevu je neoddeliteľnou súčasťou zisťovanie tepelnoizolačných vlastností, ktoré sú charakterizované v rešeršnej časti práce.

Cieľom experimentálnej časti práce bolo meranie a porovnávanie tepelnoizolačných vlastností materiálov. Je dôležité zhodnotiť, že práve u materiálov používaných na druhú vrstvu odevov je dôležitým faktorom meranie týchto vlastností, ktoré sú potrebné pre splnenie požiadaviek jednotlivých nositeľov odevov.

Katedra odevníctva zakúpila nový prístroj na meranie tepelnoizolačných vlastností materiálov a to C Therm - TCi – analyzátor tepelnej vodivosti, ku ktorému patrí komora Thermal Product Solutions. Komora bola v práci testovaná pomocou dvoch druhov termočlánkov a prístroja ALMEMO 2290 – 4, kde sa v závere každého z testovaní porovnával rozdiel medzi teplotami v komore a uvádzanom prístroji.

Pre porovnávanie samotných tepelnoizolačných vlastností boli získané vzorky materiálov od spoločnosti Alpine pro a. s a Klimatex. Experimentálna časť diplomovej práce charakterizuje jednotlivé materiály. Ďalej bola na prístroji SDL M 034 A meraná hrúbka materiálov, ktorá je dôležitým kritériom. Meranie tepelnoizolačných vlastností sa uskutočnilo za pomoci spomínanej komory Thermal Product Solutions a C Therm - TCi – analyzátora tepelnej vodivosti. Samotné meranie sa prevádzalo pre porovnanie hodnôt vlastností pri piatich rôznych nastavených teplotách. Z nameraných a dopočítaných dát sú v práci vyhodnotené tepelná absorpcia, ktorá charakterizuje tepelný ohmat materiálov, tepelná vodivosť, ktorá hovorí o odvádzaní a udržiavaní tepla pre zachovanie tepelnej pohody v ľudskom organizme a tepelný odpor, ktorý určuje

tepelnú izoláciu skúmaného materiálu a je pri ňom dôležitým faktorom hrúbka jednotlivých materiálov. V grafickom zobrazení nameraných dát sú viditeľné rozdiely hodnôt tepelnoizolačných vlastností pri piatich nastavených teplotách.

Celkové vyhodnotenie výsledkov experimentálnej časti diplomovej práce sa zaoberá zhodnotením a určením vhodnosti predložených druhov materiálov pre zimné a letné ročné obdobie. Rozhodnutie o vhodnom nosení pre obe ročné obdobia bolo v prípade predloženej diplomovej práce hodnotené podľa výsledkov tepelnoizolačných vlastností a hrúbke materiálov s tým, že sa za dôležitý faktor považoval pocit komfortu pri nosení samotného odevu vo vybranom ročnom období. Z celkového vyhodnotenia možno zhodnotiť, že väčšina predložených testovaných materiálov je vhodná najmä pre oblečenie nosené v zimnom ročnom období.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] Hes, L., Sluka, P.: Úvod do komfortu textílií. Skriptum TUL 2005
- [2] Hes, L.: prednášky z predmetu Komfort textílií 2006
- [3] Matusiak, M.: Thermal Comfort Index as a Method of Assessing the Thermal Comfort of Textile Materials [cit. 12.12 2010]. Dostupné z:
<<http://www.fibtex.lodz.pl/article334.html>>
- [4] Vliv teploty vzduchu a povrchové teploty na tepelnou pohodu člověka [cit. 31.10 2010]. Dostupné z:
<<http://www.setrnebudovy.cz/component/content/article/10>>
- [5] Tuğrul Oğulata, R.: The Effect of Thermal Insulation of Clothing on Human Thermal Comfort [4.12 2010]. Dostupné z: <http://fibtex.lodz.pl/61_16_67.pdf>
- [6] Kuneš, J., Veselý, Z., Honner, M.: Tepelné bariéry 2003, strana 245
- [7] Karafiát, J.: Potřeby tepla pro člověka, způsoby vytápění a zdroje tepla [cit.21.10 2010]. Dostupné z:
<http://www.powerwiki.cz/attach/Vyroba/Predstaveni_teplarenstvi.pdf>
- [8] Oslzlá, M., Nadačová, J.: Fyziologie odívání. Studijní zpráva. Státní výzkumný ústav textilní Liberec 1970
- [9] Axamit, P.: Fyziologie odívání I. Státní výzkumný ústav textilní Liberec. Svazek 5. Liberec 1980
- [10] Šubrt, R.: Hodnocení tepelně-izolačních vlastností textílií při vyšších rychlostech proudění vzduchu. Disertační práce. Liberec 2006
- [11] Růžicková, D.: Oděvní materiály. Skriptum TUL 2003
- [12] Osczevski, Randall, Bluestein, M.: The New Wind Chill Equivalent Temperature Chart. Bulletin of the American Meteorological Society. Oct. 2005, p. 1453–1458.
- [13] Delljová, R. A., Afanasjevová, R. F., Čubarovová, Z.S.: Hygiena odívání. SNTL Praha 1984
- [14] Vrstvení oblečení [cit. 27.12 2010].
Dostupné z: <<http://www.klimatex.cz/vrstveni>>
- [15] Průvodce výběrem pro chladné počasí [cit.19.12 2010]. Dostupné z:
<<http://www.moir.cz/pruvodce-vyberem-pro-chladne-pocasi.html>>
- [16] Jak na systém vrstveného oblékání [cit. 15.10 2010]. Dostupné z:
<<http://www.b-shop.cz/vrstvy-obleceni.html>>

- [17] Rendala, F.: Tepelné izolace. SNTL Praha 1962
- [18] Fialová, M., Petříková M., Šilar, P., Zaplatílek, V.: Termomechanika – tabulky. TU Liberec 1999
- [19] Sazima, M.: Sdílení tepla. ČVUT Praha 1980
- [20] Seames, W., Ficek, B., Line, W.: Assessing insulating fabric performance for extremely cold weather [cit. 11. 2 2011]. Dostupné z:
<<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1630447>>
- [21] Kovolová, G.: Měření tepelne izolačních vlastností 3D textilií. Bakalářská práce. Liberec 2000
- [22] Testování [cit. 2.1 2011]. Dostupné z:
<<http://www.directalpine.cz/a263-testovani>>
- [23] Halasová, A.: Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních sendvičů v podmínkách rychle prodíciho vzduchu. Diseratační práce. Liberec 2007
- [24] C-Therm TCi Operator Manual
- [25] Tenney Junior Environmental Test Chamber OPERATION & MAINTENANCE MANUAL

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha č. 1

Graf závislosti tepelnej absorpcie na teplote

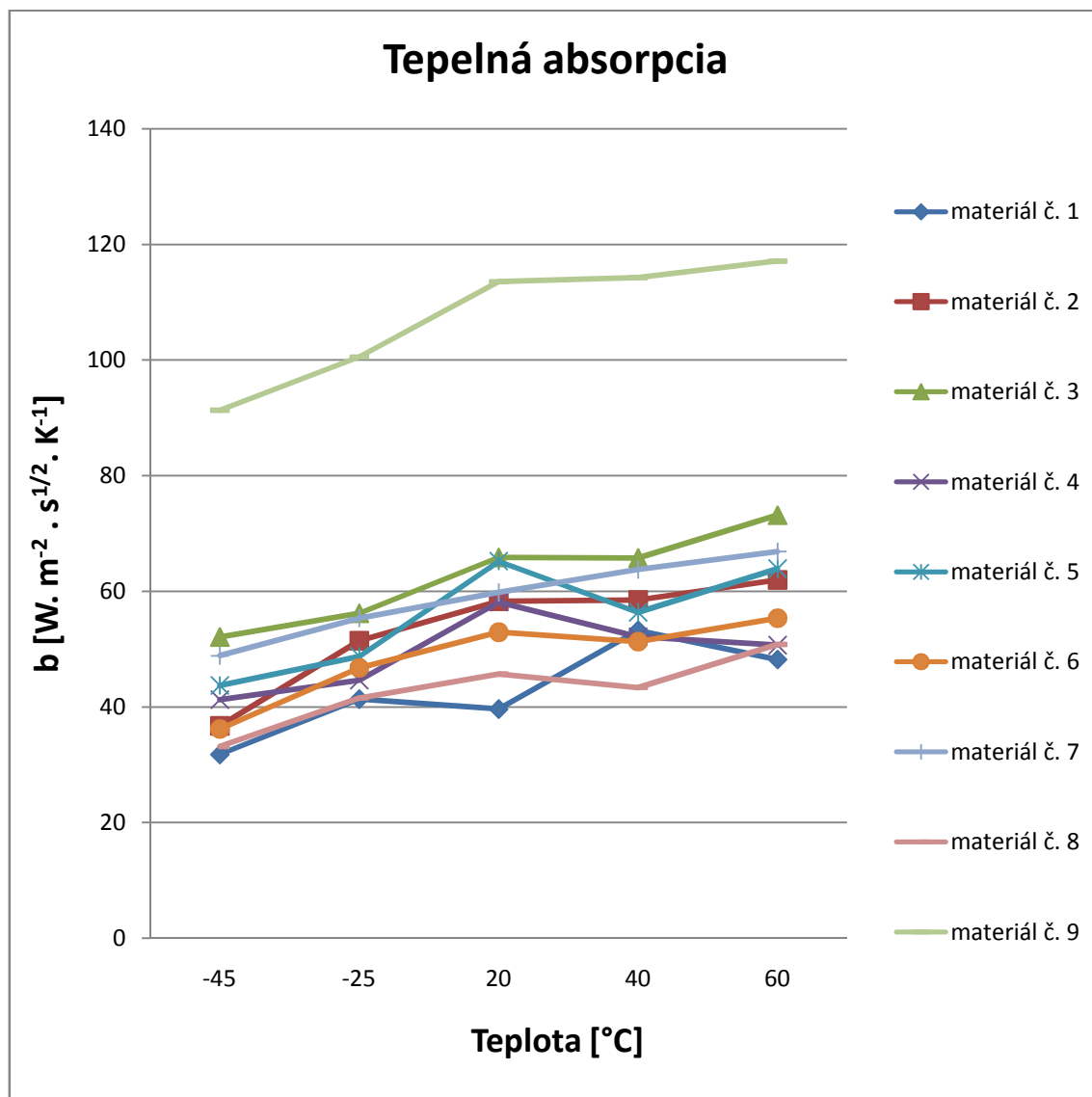
Príloha č. 2

Graf závislosti tepelnej vodivosti na teplote

Príloha č. 3

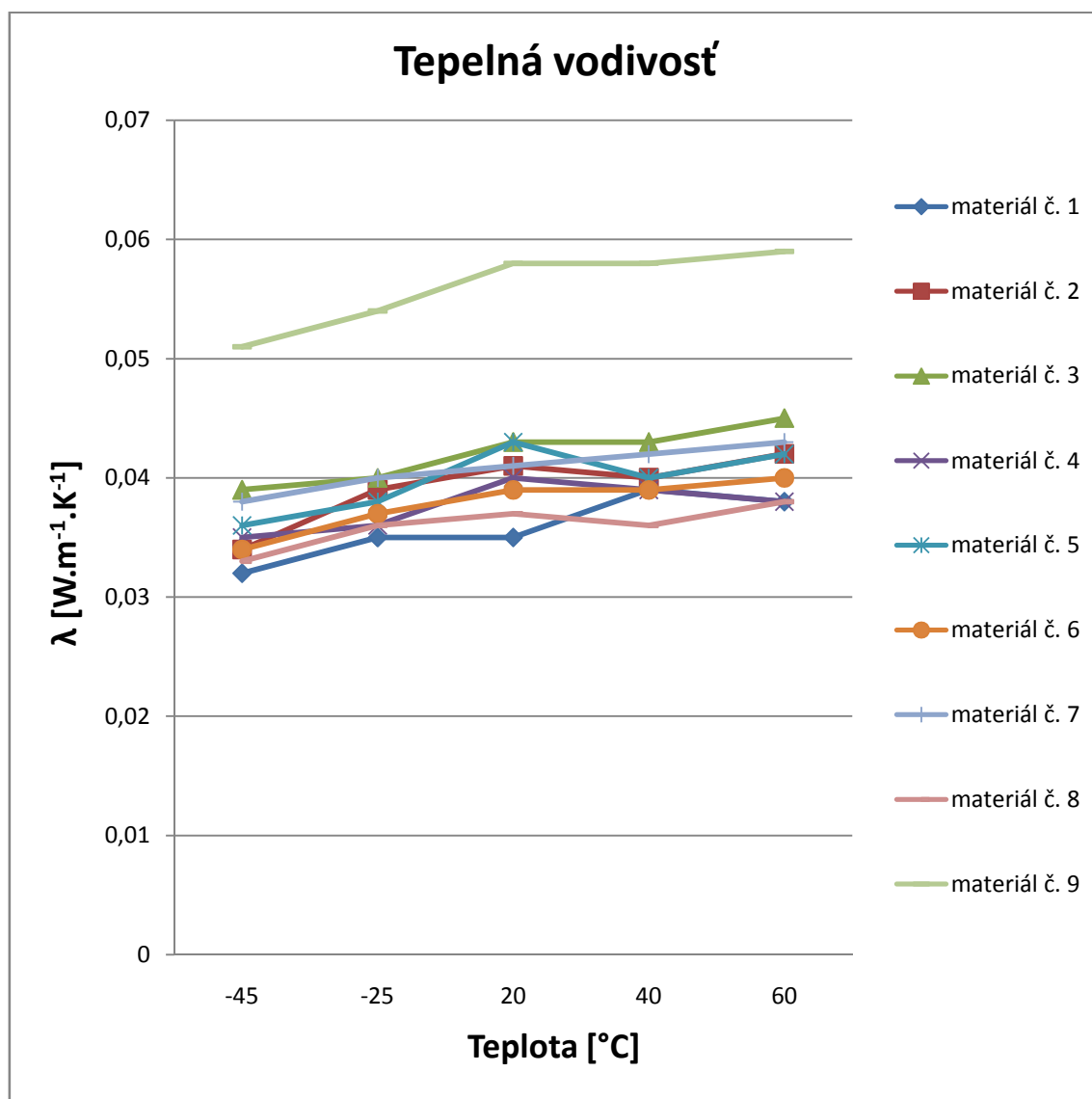
Graf závislosti tepelného odporu na teplote

Príloha č. 1



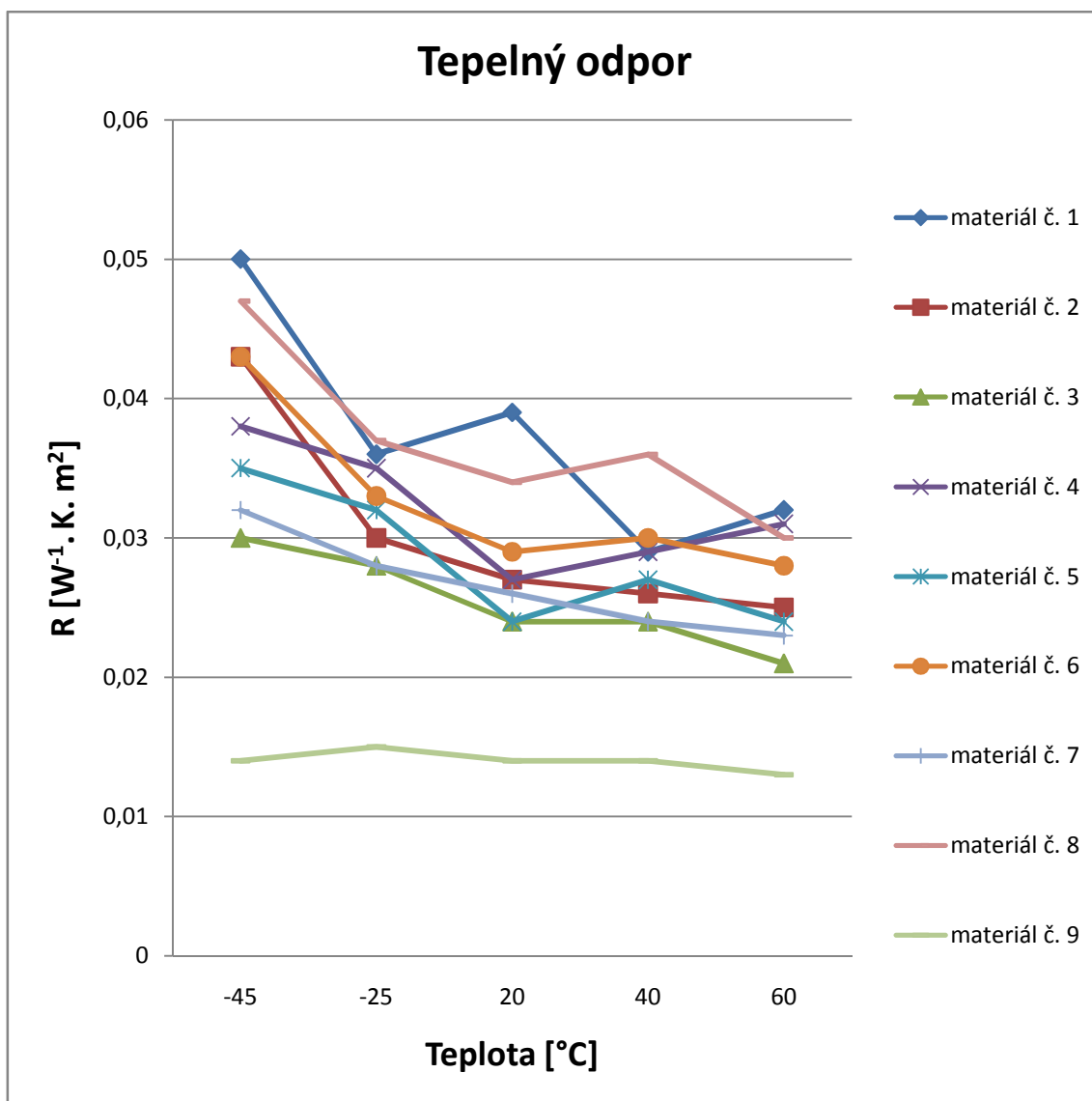
Graf závislosti tepelnej absorpcie na teplote

Príloha č. 2



Graf závislosti tepelnej vodivosti na teplote

Príloha č. 3



Graf závislosti tepelného odporu na teplote